



Fúlvia Martins Correia

Licenciada em Engenharia da Energia e Ambiente

Balanço Energético da Utilização de Kenaf na produção de energia e painéis isoladores, em Portugal

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Energia e Bioenergia

Orientador: Prof. Doutora Ana Luísa Almaça da Cruz Fernando,
Professora Auxiliar, FCT/UNL

Júri:

Presidente: Prof. Doutora Benilde Simões Mendes

Arguente: Prof. Doutor Nuno Carlos Lapa dos Santos Nunes

Vogais: Prof. Doutor Fernando Henrique da Silva Reboredo

Prof. Doutora Ana Luísa Almaça da Cruz Fernando



Setembro de 2011

“Balanço Energético da Utilização de Kenaf na produção de energia e painéis isoladores, em Portugal” © Fúlvia Martins Correia, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objectivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

AGRADECIMENTOS

Desde o início deste Mestrado, contei com a confiança e o apoio de pessoas que me são muito queridas, sem este contributo, a conclusão deste não teria sido possível.

Começo por agradecer à orientadora **Professora Doutora Ana Luísa Almaça da Cruz Fernando**, toda a dedicação, compreensão, força e amizade patenteada que fez com que seguisse em frente para a conclusão desta tese.

A esta grande mulher um bem-haja e desde já, um muito Obrigada por tudo.

À **Professora Doutora Benilde Simões Mendes**, e ao **Professor Doutor Nuno Lapa**, coordenadores do Mestrado de Energia e Bioenergia, pela motivação transmitida no decorrer do Mestrado que de certa forma foi bastante relevante para a conclusão deste.

Aos restantes Professores do Mestrado de Energia e Bioenergia que em todas as disciplinas contribuíram para o enriquecimento do conhecimento adquirido.

Agradeço aos colegas que sempre me apoiaram, em especial atenção **Diogo, João Prelhaz, Manuel Calhau, Paulo Cipriano, Ricardo, Sara Boléo e Susana Simão**, pela amizade, disponibilidade, paciência e relação que foi mantida.

Aos meus amigos, e na qual foco a **Ana Pinto e Cláudia Brochado** pelo incentivo e força, que sempre me apoiaram.

Também, quero agradecer à entidade empregadora, nomeadamente **Dr. Luís Fonseca**, que nunca se opôs às responsabilidades que tinha para finalizar esta etapa académica, bem como a compreensão, paciência e de certa forma motivação para o término deste Mestrado.

Quero agradecer e em especial ao meu marido **Vítor Rainho**, que tanto prezo pela sua paciência, compreensão e estímulo em momentos positivos e negativos.

Uma pessoa especial, pois incentivou-me a entrar neste Mestrado e que continua apoiar-me em todos os projectos de vida que impulsionem para o enriquecimento da minha formação.

Claro que para finalizar, e mesmo sendo muito novinha, dedico esta vitória à minha querida e amada filha **Beatriz Rainho** de dois (2) aninhos, pois é a razão de luta, vontade e de querer sempre mais. O significado de que é importante seguir os nossos objectivos.

Obrigada a todos por todos os momentos passados!

RESUMO

Pretendeu-se com este trabalho, avaliar o balanço energético do cultivo e utilização de kenaf, na produção de painéis integrados para isolamento térmico tendo como base o ciclo de vida dos mesmos.

Diversos cenários foram considerados neste estudo. Foram testadas duas hipóteses na produção de painéis de isolamento: a) inteiramente à base de fibra cortical do kenaf; b) incorporação de poliéster na fibra cortical do kenaf. Como a fibra lenhosa apresenta uma capacidade calorífica muito elevada, podendo ser aproveitada economicamente na produção de energia, estudaram-se também duas soluções: a) a fibra lenhosa é utilizada pela empresa produtora de painéis numa Central Térmica de pequena dimensão para produção de energia térmica; b) a fibra lenhosa é canalizada para a produção de peletes, que são comercializadas para serem queimadas em sistemas domésticos.

De acordo com os resultados obtidos, verifica-se que a eficiência energética é superior à unidade e que o balanço energético é positivo, em todos os cenários. Portanto, considerando o aspecto energético, pode ser uma possibilidade, em Portugal, a utilização do kenaf para a produção de energia e de painéis isoladores. O cenário mais vantajoso é aquele no qual os resíduos são queimados numa Central de pequena dimensão localizada na unidade de manufactura dos painéis. Neste cenário, o consumo total de energia é mais reduzido, embora em termos de produção energética não seja o mais elevado (a produção de peletes é mais produtiva devido à superior eficiência da caldeira de peletes). A utilização de poliéster reciclado na manufactura dos painéis vem desfavorecer o balanço energético uma vez que a sua produção apresenta um custo energético significativamente elevado.

Na análise de sensibilidade efectuada, verifica-se que os factores estudados que mais afectaram a eficiência energética do sistema foram o nível de aplicação de fertilizante azotado, a produtividade da cultura, o rendimento térmico das unidades geradoras de energia e mais significativamente, a possibilidade de recuperação da energia associada aos painéis isoladores no final do seu ciclo de vida.

Palavras Chave: Kenaf; Bioenergia; Culturas energéticas; Painéis isoladores

ABSTRACT

The intention of this work was to evaluate the energy balance of cultivation and use of kenaf in the production of integrated thermal insulation boards based on life cycle analysis.

Several scenarios were considered in this study. Two hypotheses were tested in the production of insulation boards: a) fully bark kenaf fiber-based b) incorporation of polyester into bark kenaf fiber. As the core fiber has a very high heat capacity, which can be economically tapped for energy production, two solutions were also studied: a) the core fiber is used by the board producer in a small thermal power plant, b) the core fiber is channeled into the production of peletes, which are marketed to be burned in home systems.

The results show that the energy efficiency is greater than unity and the energy balance is positive in all scenarios. Therefore, considering the energy feature, the use of kenaf to produce energy and insulating panels is a possibility, in Portugal. The most advantageous scenario is the one in which waste is burned in a small central unit located in the panels manufacturing unit. In this scenario, the total energy consumption is the lowest, although in terms of energy production pellets are more productive due to the higher efficiency of the boiler. The incorporation of recycled polyester into the panel is a disadvantage because its production has a high energy cost.

In the sensitivity analysis performed, the studied factors that most affect the efficiency of the system were the level of nitrogen fertilizer, the yield, the thermal efficiency of power generating units and more significantly, the possibility of energy recovery associated with insulated panels in the end of its life cycle.

Key words: Kenaf; Bioenergy; Energy crops; Insulation board

SIMBOLOGIA E NOTAÇÕES

FAO, *Food and Agriculture Organization of the United Nations*

FCT-UNL, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa

IDT- *Initial Deformation Temperature*

INSHT, *Instituto Nacional de Seguridad e Hygiene en el Trabajo, Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales*

K.E.F.I., *Kenaf Eco Fibers Italia S.p.A.*

NOx, designação generico de óxido de azoto

ÍNDICE

1	O KENAF (<i>HIBISCUS CANNABINUS</i> L.).....	1
1.1	Caracterização e produção	2
1.2	Utilizações do Kenaf.....	7
1.3	Proposta de estudo	12
2	METODOLOGIA	14
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	23
3.1	Balanço energético da utilização de kenaf na produção de energia e painéis isoladores, em Portugal ..	23
3.2	Análise de Sensibilidade	25
3.2.1	N - Fertilizante	25
3.2.2	Rega	26
3.2.3	Produtividade.....	28
3.2.4	Data da colheita.....	29
3.2.5	Distância	30
3.2.6	Rendimento térmico	30
3.2.7	Recuperação da energia contida nos painéis no fim do tempo de vida dos edifícios	31
3.2.8	Análise global	32
4	CONCLUSÕES.....	34
5	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	36

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Plantação de <i>Hibiscus cannabinus</i> L.	2
Figura 1.2: Aspecto dos caules de kenaf, onde se pode observar a camada lenhosa (de cor branca) e a parte cortical de cor verde.....	3
Figura 1.3: Folhas de kenaf das variedades Everglades 41 e Gregg.....	3
Figura 1.4: Máquinas para colheita de kenaf: (a) em verde e (b) em seco.	6
Figura 1.5: Principais produtores mundiais de kenaf e produção mundial	6
Figura 1.6: Fibra cortical após separação (esquerda) e painéis integrados para isolamento térmico (direita).	9
Figura 1.7: Ciclo de vida dos biocompósitos.....	11
Figura 2.1: Colheita do kenaf	18
Figura 2.2: Armazenamento do kenaf em campo sob a forma de fardos.....	18
Figura 2.3: Sistema de separação das fibras. a) Aspecto do sistema de aspiração que separa as fibras corticais das fibras lenhosas; b) recolha do resíduo lenhoso; c) recolha da fibra cortical	19
Figura 2.4: Sistema de manufactura dos painéis isoladores	20
Figura 2.5: Painéis isoladores: a) sem adição de poliéster; b) com adição de poliéster	21
Figura 3.1: Energia necessária para a produção, transporte e conversão do kenaf em energia e painéis isoladores, para os cenários apresentados.	25
Figura 3.2: Representação gráfica da eficiência energética, para várias quantidades de N – Fertilizante administradas	26
Figura 3.3: Representação gráfica da eficiência energética, para várias quantidades de água administradas	27
Figura 3.4: Gráfico representativo da eficiência energética para diferentes valores de produtividade	28
Figura 3.5: Gráfico representativo da eficiência energética, para diferentes datas de colheita	29
Figura 3.6: Gráfico representativo da eficiência energética, para diferentes distâncias	30
Figura 3.7: Gráfico representativo da eficiência energética, para diferentes rendimentos térmicos dos equipamentos	31
Figura 3.8: Gráfico representativo da eficiência energética, considerando o estudo inicial e a recuperação da energia associada aos painéis.....	32
Figura 3.9: Variação da eficiência energética do Cenário 1, tendo em conta os parâmetros modificados na análise de sensibilidade.....	33

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1: Produtividade de kenaf, em matéria seca e com humidade, nas colheitas de Outubro...	16
Quadro 2.2: Propriedades associadas aos painéis isoladores, de acordo com a informação fornecida pelos produtores.....	21
Quadro 3.1: Balanço energético e eficiência energética da utilização de kenaf na produção de energia e painéis isoladores, em Portugal.	23
Quadro 3.2: Eficiência energética, para várias quantidades de N – Fertilizante administradas	26
Quadro 3.3: Eficiência energética, para várias quantidades de água administradas	27
Quadro 3.4: Eficiência energética, para diferentes valores de produtividade	28
Quadro 3.5: Eficiência energética, para diferentes datas de colheita.....	29
Quadro 3.6: Eficiência energética, para diferentes distâncias	30
Quadro 3.7: Eficiência energética, para diferentes rendimentos térmicos dos equipamentos.....	31
Quadro 3.8: Eficiência energética, considerando o estudo inicial e a recuperação da energia associada aos painéis	32

1 O KENAF (*HIBISCUS CANNABINUS* L.)

O kenaf é uma planta anual, herbácea, endémica de África e pertencente à família *Malvaceae* (El Bassam, 1998; Liu, 2005; Catroga, 2009):

Reino. <i>Plantae</i>
Subreino. <i>Tracheobionta</i>
Divisão.....	<i>Magnoliophyta</i>
Classe.....	<i>Magnoliophida</i>
Subclasse.....	<i>Dileniidae</i>
Ordem.....	<i>Malvales</i>
Família.....	<i>Malvaceae</i>
Género.....	<i>Hibiscus</i>
Espécie.....	<i>Hibiscus cannabinus</i> L.

O kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) foi domesticado por volta do ano 4000 - 3500 a.C. na região do *Mande*, uma região agrícola da África Ocidental (Barbosa, 2010). A migração para a Ásia, provavelmente, ocorreu por via marítima ou então por caravanas através do território mesopotâmico. A descoberta de produtos manufacturados com fibra de kenaf nessa área, datada dos anos 2400-2800 a.C. parecem confirmar esta hipótese (K.E.F.I., 2011; Barbosa, 2010).

É uma cultura semelhante à do algodão (figura 1.1), tendo sido utilizada ao longo da História, particularmente em África e na China e Índia, não só para fibra (cordéis, cordas, sacos, etc) mas também para outros usos (alimentar, medicinal) (Barbosa, 2010).

Nos Estados Unidos da América, a produção de kenaf teve o seu início durante a Segunda Guerra Mundial, sendo cultivada para substituição de fibras, como a juta, que eram importadas, assegurando o fornecimento de cordéis no uso do esforço de guerra (Webber e Bledsoe, 2002; Maracchi, 2007; Barbosa, 2010). Como resultado deste investimento, desenvolveram-se variedades de elevado rendimento, resistentes à antracnose, assim como práticas culturais e máquinas de colheita que aumentaram as produtividades em fibra e a variedade da sua utilização a nível industrial (Webber e Bledsoe, 2002; Barbosa, 2010).



Figura 1.1: Plantação de *Hibiscus cannabinus* L. (Fonte: <http://integrated-composites.com/Kenaf/Kenaf.html>)

Na Europa, o desenvolvimento desta cultura concentra-se nas regiões mediterrânicas, sobretudo para uso no sector da produção de fibras (Barbosa, 2010). O investimento é muito baixo e a experimentação sobre a adaptação dessa cultura no Mediterrâneo Europeu começou apenas nos anos 90, sobretudo no centro e norte da Itália e na Grécia (Maracchi, 2007; Barbosa, 2010).

Actualmente, o kenaf é cultivado principalmente na Índia, China e Brasil (FAO, 2011).

O interesse neste tipo de cultura reside no facto de ser uma espécie anual, de elevada produtividade, rica em fibra, com múltiplas aplicações a nível industrial, incluindo a produção de energia (Alexopoulou *et al.*, 2009).

1.1 Caracterização e produção

Os caules são erectos, de secção cilíndrica e delgados, por vezes possuindo espinhos, sendo constituídos por dois tipos de fibra (figura 1.2). As fibras longas estão localizadas na zona cortical e apresentam um comprimento de 2,5 – 4,5mm; as fibras curtas estão localizadas na zona lenhosa e apresentam um comprimento de 0,45 – 0,75mm; a medula, rodeada pela fibra curta, é constituída por um tecido esponjoso, muito rico em lenhina (Alexopoulou, 2003, Catroga, 2009). A camada cortical corresponde a 35 – 40%(m/m), a

camada lenhosa a 60 – 65% e a medula a 2 – 3% (Alexopoulou, 2003). Os caules destas plantas podem apresentar alturas compreendidas entre os 3 e os 6m, sendo que a altura média na orla mediterrânica é de cerca de 2,5 metros (Barbosa, 2010).



Figura 1.2: Aspecto dos caules de kenaf, onde se pode observar a camada lenhosa (de cor branca) e a parte cortical de cor verde (Fonte: Webber e Bledsoe, 2002)

As folhas são simples, de contorno serrilhado, apresentando, conforme a variedade, uma forma levemente lobulada e cordiforme (como por exemplo a variedade Everglades 41) ou uma forma dividida em 3, 5 ou 7 lóbulos profundos (como por exemplo, a variedade Gregg) (Catroga, 2009)(figura 1.3).



Figura 1.3: Folhas de kenaf das variedades Everglades 41 e Gregg (Fonte: <http://pics.davesgarden.com>).

As folhas possuem compostos voláteis e óleos essenciais, que podem actuar na prevenção e inibição da germinação e crescimento de ervas daninhas (Webber e Bledsoe, 2002). Em

África e na Ásia, as folhas de kenaf são usadas na alimentação animal e humana (K.E.F.I., 2011; Barbosa, 2010).

O kenaf produz flores vistosas, largas (7,5 a 10 cm), em forma de sino e amplamente abertas, constituídas por 5 pétalas, cuja cor varia do creme ao púrpura escuro (Catroga, 2009; Barbosa, 2010). As sementes desenvolvem-se em cápsulas, de forma aguçada e oval, que podem conter, cada, cerca de 20-26 sementes (Alexopoulou, 2003; Barbosa, 2010). As sementes são pequenas (6 mm de comprimento e 4 mm de largura, 35.000 a 40.000 sementes por kg), de cor escura, de uma forma aproximadamente triangular (K.E.F.I., 2011; Barbosa, 2010). Estas sementes apresentam teores em óleo que variam entre os 16% e os 26%, sendo que os teores em fosfolípidos e esteróis podem representar até 6% e 0,9%, respectivamente (Webber e Bledsoe, 2002; Maracchi, 2007). Este óleo pode ser utilizado na alimentação humana e os seus ácidos gordos maioritários são o palmítico (20%), o oleico (29%) e o linoleico (46%)(Webber e Bledsoe, 2002). O kenaf apresenta um sistema radicular profundo, com raízes laterais longas, que o tornam bastante tolerante à seca e num utilizador eficiente, quer dos fertilizantes adicionados quer de nutrientes provenientes de resíduos de culturas anteriores (Maracchi, 2007; Alexopoulou *et al.*, 2009).

O kenaf é capaz de se adaptar a uma grande variedade de condições climáticas, mas atinge o seu crescimento máximo nas regiões tropicais e subtropicais, o que corresponde a latitudes compreendidas entre os 45°N e os 30°S (com altitudes inferiores a 1000 m)(Alexopoulou, 2003). Conseguem-se obter produtividades mais elevadas no intervalo de temperaturas 25-28°C, desde que a humidade relativa seja elevada (65-85%) e a precipitação mensal (90-275 mm) garanta as necessidades hídricas da cultura (Alexopoulou, 2003; Maracchi, 2007). No que respeita à fertilização mineral, a cultura deve dispôr de 70-90 kg/ha em azoto (10-30 kg/ha na fase de sementeira e 50-60 kg/ha na fase em que as plantas apresentam uma altura de 20cm), 120 kg/ha em K₂O e 60 kg/ha em P₂O₅) (El Bassam, 1998).

Como a floração da maioria das variedades de kenaf está sob o controlo do fotoperíodo, que ocorre no final de Setembro, princípios de Outubro, nas regiões mediterrânicas, a sementeira deverá ser efectuada na primavera, de modo a que o ciclo vegetativo seja o mais longo possível (Catroga, 2009; Barbosa, 2010). No entanto, como a cultura é sensível a temperaturas baixas, a sementeira deve ser efectuada apenas quando a temperatura do solo for superior a 9,2-9,7°C, e a temperatura do ar, superior a 15°C (Alexopoulou, 2003). A ocorrência de geadas e a escassez de água são também factores limitantes da germinação e desenvolvimento da planta (El Bassam, 1998; Alexopoulou, 2003). Mas nas condições semi-áridas, como as prevalecentes nas regiões mediterrânicas, podem obter-se

produtividades significativas com 250 a 400 mm de precipitação, quantidades muito inferiores às exigidas por culturas tradicionais (Alexopoulou *et al.*, 2009).

A densidade de sementeira deve estar compreendida entre 185000-370000 plantas/ha, de modo a reduzir a ramificação dos caules e a permitir disponibilidade de recursos, como luz, nutrientes e água (Webber e Bledsoe, 2002; Catroga, 2009). Sendo uma cultura anual primaveril pode ser inserida numa rotação em áreas em que sejam cultivadas monoculturas, como por exemplo, cereais (Alexopoulou *et al.*, 2009; Barbosa, 2010).

É uma espécie resistente à maioria das pragas e doenças (Catroga, 2009). A antracnose pode inutilizar totalmente a cultura, mas a maioria das variedades disponíveis comercialmente são resistentes a esta doença (Barbosa, 2010). Pode ser necessário o controlo de espécies infestantes, no início do ciclo vegetativo, antes da cobertura do solo pelo kenaf, através do recurso a herbicidas pré ou pós emergência ou por via mecânica (Maracchi, 2007). A presença de nemátodes no solo pode representar um sério risco mas um programa de rotação de culturas eficiente e a introdução de variedades mais tolerantes a nemátodes pode reduzir o problema (Barbosa, 2010).

A época de floração é a melhor altura para se realizar a colheita do kenaf. A selecção do momento e do tipo de colheita são fortemente influenciados pelo destino final do produto (Maracchi, 2007).

Fundamentalmente, no cultivo do kenaf como cultura de fibra existem dois tipos de colheita: uma em verde, na qual as plantas apresentam flor, caules inteiros e com folhas, e outra durante o inverno, em que as plantas apresentam caules desprovidos de folhas e degradados devido aos agentes atmosféricos e biológicos (Maracchi, 2007).

Actualmente existe maquinaria específica para o processo de colheita do kenaf. Estão disponíveis no mercado máquinas que colhem o kenaf e que realizam a separação das fibras exteriores (parte cortical) das fibras interiores (camada lenhosa)(descorticação) (Webber *et al.*, 2002a; Barbosa, 2010). Quando o objectivo é a utilização do caule inteiro, os caules podem ser roçados e retirados do campo sob a forma de feixes ou em fardos (Maracchi, 2007). A figura 1.4 apresenta algumas máquinas utilizadas para a colheita do kenaf.

O caule de kenaf seco e desprovido de folhas é um material extremamente leve, com uma densidade de $0,31 \text{ g.cm}^{-3}$. A fibra moída apresenta uma densidade ainda mais reduzida ($0,1 \text{ g.cm}^{-3}$). Esta reduzida densidade afecta a gestão da cultura no que respeita aos custos associados com o transporte e armazenamento. A peletização permite a obtenção de materiais de maior densidade ($1,21 \text{ g.cm}^{-3}$) (Webber *et al.*, 2002a).



(a)



(b)

Figura 1.4: Máquinas para colheita de kenaf: (a) em verde e (b) em seco (Fonte: K.E.F.I., 2011).

O processamento inicial e o tipo de equipamento utilizado dependem de diversos factores, tais como o local de produção, equipamentos disponíveis, variáveis económicas envolvidas e os mercados disponíveis. Uma das primeiras decisões a tomar é se se processa o caule inteiro, triturado, se as fibras internas e externas são separadas ou não, utilizando-as como fonte de fibra conjunta (Webber *et al.*, 2002a).

A figura 1.5 ilustra os principais produtores e a produção mundial de kenaf, em milhares de toneladas, entre os anos 2005 e 2011. O maior produtor mundial é a Índia, com cerca de 50% da produção mundial (FAO, 2011).

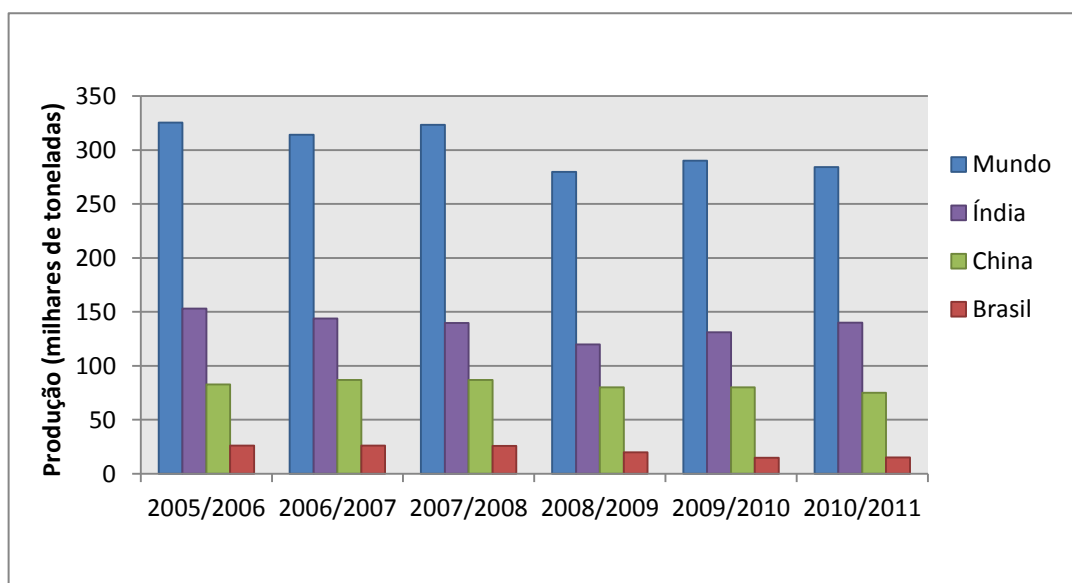


Figura 1.5: Principais produtores mundiais de kenaf e produção mundial (Fonte: FAO, 2011).

A produtividade do kenaf pode variar muito, estando dependente de uma série de factores, tais como as condições edafo-climáticas, contudo a sua produtividade em termos comerciais situa-se entre 9 e 22 t.ha⁻¹ (matéria seca) (Barbosa, 2010).

Em Portugal, realizaram-se os primeiros estudos experimentais com o kenaf no ano de 1991, no âmbito do projecto EUROKENAF (estudos realizados pela FENACAM com a colaboração de outras entidades) (Catroga, 2009).

No âmbito do projecto “Biomass Production Chain and Growth Simulation Model for Kenaf – Biokenaf”, apoiado pela União Europeia, realizaram-se em Portugal alguns estudos sobre a produção de kenaf. Estes estudos demonstraram que nas condições pedoclimáticas da Península de Setúbal, em Portugal, podem ser alcançados elevados rendimentos ($28 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}$ matéria seca), dependendo das técnicas de cultivo aplicadas (Fernando *et al.*, 2007).

1.2 Utilizações do Kenaf

A cultura de kenaf fornece matéria-prima com numerosas aplicações industriais e energéticas. As fibras da parte cortical podem ser utilizadas como fonte de fibra e a parte lenhosa como fonte de energia através de processos termoquímicos.

A fibra de kenaf é semelhante a outras fibras vegetais (cânhamo, linho, etc.). O comprimento das fibras em média é de cerca de 2,5 mm e a sua composição é formada por: celulose (58 a 63%), hemiceluloses (21 a 24%) e lenhina (12 a 14%) (Maracchi, 2007). A presença da lenhina pode representar um factor negativo na elasticidade da fibra, tornando-a menos adequada, comparativamente à do cânhamo e outras com aplicação têxtil (Maracchi, 2007). A fibra do kenaf é mais resistente que a da juta, embora menos flexível (Catroga, 2009).

Como planta produtora de fibra, o kenaf era já conhecido do povo egípcio e na Índia, sendo cultivado e utilizado para cordoaria, sacaria, forro de tapetes, assim como para artigos vários desde tempos imemoriais. Em Espanha o kenaf foi largamente cultivado na Estremadura e Andaluzia e a sua biomassa utilizada para a cordoaria, durante a época dos descobrimentos. Permaneceu como uma das menos importantes plantas produtoras de fibras até à 2ª Guerra Mundial, altura em que, face à crise económica, plantas de crescimento rápido produtoras de fibra ganharam acrescida importância como substitutos de outros materiais conhecidos que se tinham tornado escassos e de preço elevado, como a juta (Catroga, 2009).

No decorrer das décadas de 1950 e 1960, devido à qualidade da sua celulose, o kenaf começou a ser utilizado para a produção de pasta para papel (Webber e Bledsoe, 2002; Alexopoulou, 2003; Catroga, 2009; Villar *et al.*, 2009):

- A polpa pode ser utilizada na produção de diversos tipos de papel e papel cartonado, o qual apresenta boa qualidade, durabilidade, boa qualidade para impressão e absorção de tinta.
- O caule pode ser processado por inteiro ou, se for descorticado, as duas fracções (caule externo e interno) são processadas separadamente. O papel produzido a partir das fibras do caule interno é mais fino e denso, enquanto o papel produzido a partir das fibras do caule externo é mais grosso, volumoso, leve e geralmente mais resistente.
- É uma cultura que contribui para a diminuição do impacte ambiental dos efluentes da indústria da pasta de papel, uma vez que são necessários menos produtos químicos no processo (o kenaf apresenta teores em lenhina mais reduzidos).

Devido às suas características que satisfazem não só os requisitos da indústria de papel, mas também o de outras aplicações industriais adicionais (cordoaria, por exemplo), a produção de kenaf sofreu uma grande expansão em diversos países nas últimas décadas (EUA, alguns países da ex-URSS e da América Latina)(Catroga, 2009). Na União Europeia, o kenaf foi introduzido como uma cultura não alimentar, cultivável em terrenos agrícolas em regime de pousio, visando a produção de fibra destinada à indústria (Regulamento (CEE) n.º 1765/92, do Conselho, de 30 de Junho de 1992 e Regulamento (CEE) N.º 334/93, da Comissão, de 15 de Fevereiro de 1993).

Eis algumas das utilizações industriais do kenaf:

- As fibras da zona cortical podem ser utilizadas na produção têxtil, após a maceração do caule de kenaf com o auxílio de enzimas (Catroga, 2009). As partes não aproveitadas pela indústria têxtil e de pasta celulósica (folhas e extremidades não lenhificadas) podem ser utilizadas para forragem, uma vez que estas partes da planta possuem um elevado teor em proteínas bem como um bom perfil de aminoácidos (Alexopoulou, 2003). As plantas verdes, obtidas numa fase inicial do crescimento, também podem ser utilizadas para forragem, uma vez que a cultura, nesta fase, apresenta elevados teores em proteína (Catroga, 2009). A parte lenhosa do kenaf demonstrou bons resultados quando utilizado como substrato para a produção de cogumelos (Sameshima *et al.*, 1999).
- O óleo, um sub-produto do kenaf, tem ainda potencial para ser valorizado (Alexopoulou, 2003; Catroga, 2009): A semente apresenta um teor em óleo relativamente elevado (cerca de 20%), com uma composição em ácidos gordos semelhante à do óleo das sementes de algodão (sem gossipol, um composto com propriedades tóxicas) e teores em fitoesteróis e fosfolípidos, que sugerem a sua utilização para fins alimentares. Este óleo pode ainda ser usado no fabrico de

sabões, linóleo, tintas e vernizes e para iluminação. Após a extração do óleo da semente, obtém-se um bagaço, que contém 35% de proteínas, que pode ser utilizado para ração. Os pigmentos extraídos da flor podem ser utilizados como corantes (Alexopoulou, 2003; Catroga, 2009). As sementes não viáveis podem ser utilizadas na alimentação de aves (K.E.F.I., 2011).

- Devido à sua elevada capacidade de absorção, o kenaf (sobretudo a parte lenhosa) pode ser utilizado em leitos para animais, como absorvente de petróleo ou dos seus derivados em derrames, como agente secante em embalagens, e em produtos como toalhetes, lenços de papel e papel higiénico (Lips *et al.*, 2009; Catroga, 2009). É considerada também uma alternativa na produção de membranas para microfiltração (Radiman *et al.*, 2008) e em operações de filtração apresenta um comportamento semelhante à terra de diatomáceas (Lee e Eiteman, 2001).

As características da fibra satisfazem também os requisitos para a produção de materiais de construção (contraplacados de diferentes densidades e espessuras, com resistência ao fogo e a ataques de insectos) (Webber e Bledsoe, 2002; Kalaycioglu e Nemli, 2006; Juliana *et al.*, 2012).

A fibra cortical do kenaf tem vindo a ser utilizada como matéria-prima alternativa na produção de painéis integrados para isolamento térmico apresentando uma condutividade térmica semelhante à de outros produtos comerciais à base de outras fibras (Lips, 2007)(figura 1.6). Na produção destes painéis, as fibras podem ser a única matéria-prima ou então podem ser incorporadas de poliéster (Ardente *et al.*, 2008) ou revestidas a polietileno (K.E.F.I., 2011). O kenaf também tem vindo a ser considerado como uma matéria-prima alternativa na produção de painéis integrados para isolamento acústico (Catroga, 2009; Akil *et al.*, 2010).



Figura 1.6: Fibra cortical após separação (esquerda) e painéis integrados para isolamento térmico (direita)
(Fonte: Lips, 2007).

A utilização de painéis integrados para isolamento térmico em edifícios (paredes, telhados) é relevante para a melhoria da eficiência energética dos mesmos: reduz a perda de calor, o que permite a poupança em custos e em energia, reduzindo o consumo de recursos e dos impactes ambientais decorrentes do consumo de combustíveis fósseis (Ardente *et al.*, 2008) associados à produção de energia. O mercado dos materiais para isolamento térmico é dominado pelos seguintes grupos de produtos (Ardente *et al.*, 2008):

- Materiais minerais ou inorgânicos, como a lã de vidro ou a lã de rocha, que representam 60% do mercado;
- Materiais orgânicos em espuma, como o poliestireno expandido ou o poliestireno extrudido, ou ainda o menos utilizado poliuretano, que representam 30% do mercado;
- E outros materiais, que representam 10% do mercado.

A utilização da fibra cortical do kenaf na produção de painéis para isolamento térmico é uma solução inovadora que se pode traduzir, pelo menos, nos seguintes benefícios: é um material biodegradável e associada à sua produção podemos ter um balanço em energia e em emissões de CO₂ mais favorável do que no caso de materiais à base de produtos fósseis (como é o caso do poliuretano) (Ardente *et al.*, 2008). Outras vantagens do kenaf são a sua baixa densidade (o que torna os produtos resultantes mais leves), não é abrasivo e as suas propriedades mecânicas são altamente específicas (Ardente *et al.*, 2008).

As fibras do kenaf podem ainda ser utilizadas na indústria como substituto da fibra de vidro e de outras fibras sintéticas em materiais compósitos (Webber e Bledsoe, 2002; Akil *et al.*, 2011).

A utilização destas fibras naturais em compósitos tem a intenção de os tornar mais leves, a um custo mais reduzido, quando comparando com os compósitos poliméricos reforçados com fibra de vidro: as fibras naturais apresentam uma densidade mais reduzida (1,2-1,6 g.cm⁻³) do que a fibra de vidro (2,4 g.cm⁻³) (Akil *et al.*, 2011). Por outro lado, a inclusão de fibras naturais (como as de cânhamo, juta e kenaf) na produção de plásticos à base de polipropileno e polietileno permite não só a redução de custos mas também do consumo de derivados do petróleo, e dos impactes decorrentes da extracção e utilização deste recurso não renovável, sem que ocorra uma diminuição significativa das propriedades físicas e mecânicas do compósito (Lips, 2007; Akil *et al.*, 2011). A inclusão destas fibras naturais em materiais plásticos apresenta ainda as seguintes vantagens face às fibras sintéticas: baixa densidade, custo mais reduzido, menor desgaste de maquinaria, disponibilidade e biodegradabilidade (Akil *et al.*, 2011). Estes compósitos têm sido muito utilizados na produção de componentes para a indústria automóvel, de construção, de desporto e lazer e ainda como embalagem secundária para protecção em substituição da esferovite (Webber e

Bledsoe, 2002; Akil *et al.*, 2011). A figura 1.7 apresenta o ciclo de vida destes biocompósitos.

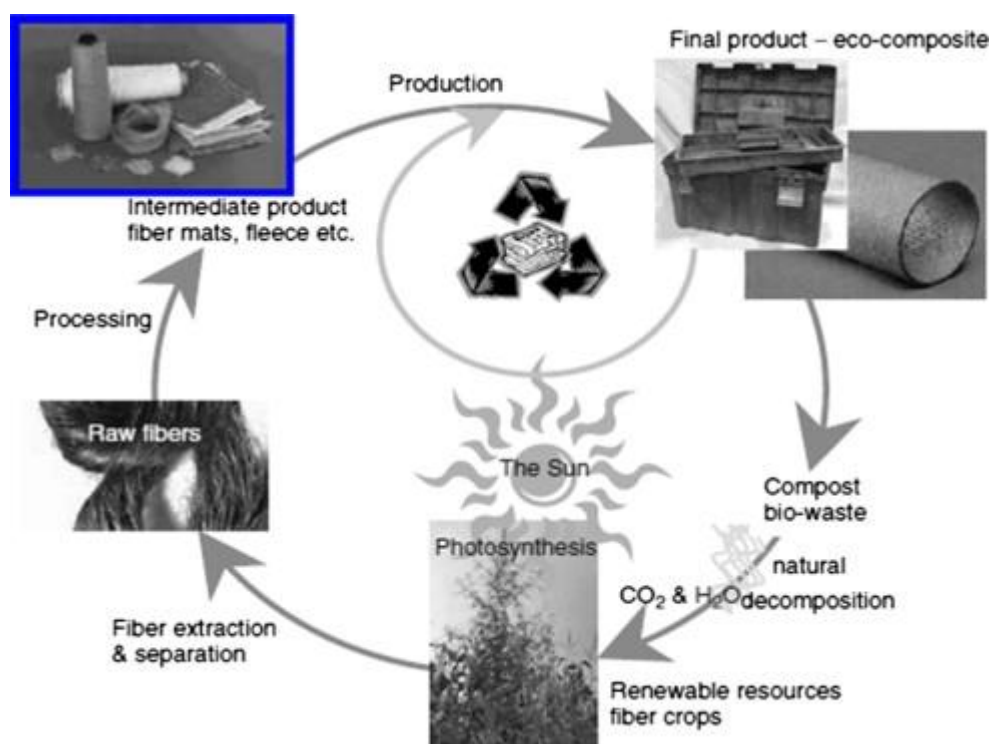


Figura 1.7: Ciclo de vida dos biocompósitos (Fonte: Akil *et al.*, 2011).

Esta planta pode também ser valorizada de outras formas, entre as quais se salienta o seu aproveitamento energético (El Bassam, 1998). O poder calorífico da biomassa vegetal é, em média, 15 MJ.kg^{-1} (matéria seca), sendo o caule interno mais energético do que o caule externo (Fernando *et al.*, 2007). Como sub-produto das indústrias que utilizam as fibras corticais, a parte lenhosa pode ser canalizada para a produção de peletes que são depois utilizadas em centrais termoelétricas ou comercializadas para utilização doméstica (Ardente *et al.*, 2008).

van den Berg (2007) estudou em particular as aplicações termoquímicas do kenaf. Em termos da adequação do material para a conversão térmica, testes preliminares mostraram que o teor em cinzas era de 2% para a parte lenhosa e de 2,4% para a totalidade do caule, valores reduzidos e apropriados, enquanto a fusão das cinzas apresentou um IDT (*Initial Deformation Temperature*) acima de 1270°C , valor elevado e considerado vantajoso numa cultura herbácea. Outras culturas como o *Miscanthus* e o *Arundo* têm valores de IDT mais baixos. A baixa densidade das plantas, em particular se considerarmos a utilização da totalidade do caule, afecta não só as operações de combustão, gasificação ou pirólise mas também os procedimentos de alimentação do reator, que têm de ser mais lentos do que os

sistemas que utilizam estilha de madeira. Pode ser necessário um pré-tratamento ao material de modo a aumentar a sua densidade.

De acordo com os estudos de van den Berg (2007), na combustão do kenaf pode ocorrer a emissão de elevados teores de NO_x, devido à composição química do kenaf, o que pode ser um óbice à sua utilização. Nos testes de gasificação, van den Berg (2007) verificou que o caule interno tem um comportamento semelhante ao do *Miscanthus* e do *Arundo*. Verificou, igualmente, que o gás produzido não tem cloro, o qual poderá ter sido capturado pelo cálcio e/ou magnésio presentes nas cinzas. Por outro lado, os teores em enxofre e amoníaco presentes no gás podem ser considerados elevados se o gás for directamente utilizado em motores. Nos testes de pirólise, o rendimento de produção de óleo é elevado quando comparado com o que é obtido com o *Miscanthus*, o *Arundo* ou a palha, mas mais baixo do que o rendimento obtido com madeira. Devido à composição do kenaf, a combustão do óleo poderá resultar em emissões de NO_x elevadas.

1.3 Proposta de estudo

O desenvolvimento de culturas energéticas, actualmente, reside não só na possibilidade da sua utilização como fonte de energia renovável, mas também na sua utilização para produção de biomateriais. As culturas energéticas oferecem alguns benefícios face às matérias-primas de origem fóssil. São renováveis, biodegradáveis e são um recurso disponível. Quando utilizadas na produção de energia, dependendo da gestão, o balanço de carbono pode ser positivo (devido à actividade fotossintética da biomassa que é utilizada como matéria prima), pode haver redução das emissões de gases, que contribuem para o efeito estufa, e o seu baixo teor em enxofre implica uma redução da emissão de gases acidificantes (Biewinga e van der Bijl, 1996). No entanto, as culturas energéticas apresentam também algumas desvantagens, uma vez que a produção agrícola da biomassa é realizada de forma intensiva e há necessidade de disponibilidade de terra arável, mesmo que em solos marginais. Existe, portanto, o risco de se poluírem as águas com nitratos, fosfatos e pesticidas, assim como o perigo da redução da biodiversidade, quando a biomassa for cultivada na forma de monocultura (Fernando *et al.*, 2010).

O kenaf possui uma capacidade calorífica elevada e nas condições pedoclimáticas da zona do estuário do Tejo, sem limitação de água, podem ser alcançados elevados rendimentos (28 t.ha⁻¹, Fernando *et al.*, 2007). Este facto permite considerar promissora esta cultura, em termos da sua valorização energética e industrial (e económica), especialmente num país

como Portugal onde não existem recursos conhecidos de recursos fósseis, em condições economicamente exploráveis.

Na perspectiva de um desenvolvimento sustentável e tendo em conta a Reforma da Política Agrícola Comum, e no âmbito do Mestrado em Energia e Bioenergia da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa (FCT-UNL), pretende-se com este trabalho, avaliar o balanço energético da produção e utilização de kenaf, como factor de sustentabilidade energética e de melhoria do ambiente térmico em edifícios, tendo em conta as condições de Portugal. Neste contexto, o balanço energético da produção e utilização do kenaf na produção de painéis integrados para isolamento térmico será avaliado com base na análise do ciclo de vida.

Diversos cenários foram considerados neste estudo. Foram testadas duas hipóteses na produção de painéis de isolamento: a) inteiramente à base de fibra cortical do kenaf; b) uma matriz de poliéster é incorporada na fibra cortical do kenaf. Como a fibra lenhosa apresenta uma capacidade calorífica muito elevada, podendo ser aproveitada economicamente na produção de energia, estudaram-se também duas soluções: a) a fibra lenhosa é utilizada pela empresa produtora de painéis numa Central Térmica de pequena dimensão; b) A fibra lenhosa é canalizada para a produção de peletes, que são comercializadas para serem queimadas em sistemas domésticos.

Na produção de energia, a partir da fibra lenhosa, considerou-se a combustão da biomassa, por ser o processo que já está implementado a nível industrial e comercial. No estudo, é feita uma análise de sensibilidade, em que se pretende avaliar a influência de determinados factores, no balanço energético. São estudados factores relacionados com a produção agrícola da cultura, como o nível de fertilização azotada, a irrigação, a data da colheita e a produtividade, assim como factores relacionados com o seu processamento e utilização, como a distância entre o local de produção do kenaf e a unidade transformadora, o rendimento energético das unidades produtoras de energia e a possibilidade de recuperação da energia contida nos painéis, no final do tempo de vida dos edifícios.

2 METODOLOGIA

De modo a avaliar o balanço energético decorrente da produção e utilização do kenaf na produção de painéis integrados para isolamento térmico, em Portugal, foi aplicada a metodologia desenvolvida por Biewinga e van der Bijl (1996).

Neste âmbito, considerou-se que o kenaf era cultivado na região da península de Setúbal, tendo como principal finalidade a obtenção de fibra cortical para a produção de painéis integrados para isolamento térmico. Considerou-se que a fibra lenhosa, sub-produto da unidade produtora de painéis, era canalizada para a produção de energia.

Neste contexto, estudaram-se quatro cenários diferentes para a sua produção e utilização:

- ✓ Cenário I)
 - Produção de um painel de isolamento inteiramente à base de fibra cortical do kenaf. A fibra lenhosa é utilizada pela empresa produtora de painéis numa Central Térmica de pequena dimensão existente na própria unidade.
- ✓ Cenário II)
 - Produção de um painel de isolamento inteiramente à base de fibra cortical do kenaf. A fibra lenhosa é canalizada para a produção de peletes, que são comercializadas para serem queimadas em sistemas domésticos.
- ✓ Cenário III)
 - Produção de um painel de isolamento em que uma matriz de poliéster é incorporada na fibra cortical do kenaf. A fibra lenhosa é utilizada pela empresa produtora de painéis numa Central Térmica de pequena dimensão existente na própria unidade.
- ✓ Cenário IV)
 - Produção de um painel de isolamento em que uma matriz de poliéster é incorporada na fibra cortical do kenaf. A fibra lenhosa é canalizada para a produção de peletes, que são comercializadas para serem queimadas em sistemas domésticos.

Na produção de energia, a partir de fibra lenhosa considerou-se a combustão da biomassa, por ser o processo que já está implementado a nível industrial e comercial. Não foi considerado neste estudo a utilização para energia da totalidade do caule (fibra cortical e fibra lenhosa), uma vez que a fibra cortical apresenta um teor em poder calorífico mais reduzido (Fernando *et al.*, 2007) e a sua baixa densidade pode afectar os procedimentos de alimentação do reator, que têm de ser mais lentos do que os sistemas que utilizam estilha de madeira (van den Berg, 2007).

No estudo, é feita uma análise de sensibilidade, em que se pretende avaliar a influência de determinados factores, no balanço energético. São estudados factores relacionados com a produção agrícola da cultura, como o nível de fertilização azotada, a irrigação, a data da colheita e a produtividade, assim como factores relacionados com o seu processamento e utilização, como a distância entre o local de produção do kenaf e a unidade transformadora, o rendimento energético das unidades produtoras de energia e a possibilidade de recuperação da energia contida nos painéis, no final do tempo de vida dos edifícios.

O balanço energético é calculado por subtração do consumo energético à energia potencial produzida, sob a forma de biomassa. O consumo energético é a soma dos gastos energéticos utilizados na produção das sementes, dos fertilizantes, pesticidas, assim como na produção e utilização de maquinaria, no cultivo do kenaf. O consumo energético reflecte também os gastos utilizados no armazenamento, transporte e processamento da biomassa. A energia produzida corresponde à energia potencial total que se poderá obter por combustão da fibra lenhosa, que corresponde ao produto Produtividade ($\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$, matéria seca) x Calor de combustão. A este valor é multiplicado o rendimento energético da máquina, na combustão do material.

Como a cultura é anual, considerámos a sua produção anual. Em todos os cálculos utilizámos como unidade funcional 1 ha de produção de kenaf por ano. Para a realização deste balanço energético, foi necessário ter em linha de conta alguns aspectos, nomeadamente dados respeitantes à produtividade, ao uso de fertilizantes e pesticidas, ao uso de água e à caracterização da biomassa. Estes dados foram obtidos no trabalho de Fernando *et al.* (2006, 2007 e 2007a) de campos de kenaf localizados no Monte de Caparica.

Em relação aos dados da produtividade e da composição da biomassa, utilizaram-se os valores médios das colheitas efectuadas em Outubro de 2005 e Outubro de 2006, logo após a floração. Estes anos foram representativos do cultivo de kenaf, em condições em que as produtividades alcançadas foram elevadas. No ano de 2005 foi utilizada a variedade Tainung 2 e no ano de 2006 a variedade Everglades 41. A variedade Everglades 41 é ligeiramente mais produtiva do que a variedade Tainung 2, nas condições de estudo no Monte de Caparica, apresentando teores em poder calorífico superiores também. A variedade Tainung 2 apresenta teores em fibra superiores aos da variedade Everglades 41. No entanto, as diferenças observadas entre estas duas variedades não são significativas (Fernando *et al.*, 2007).

O Quadro 2.1 apresenta os dados de produtividade de kenaf, em matéria seca e com humidade, obtidos de Fernando *et al.* (2006, 2007 e 2007a), nas colheitas de Outubro. Considerou-se que a fibra cortical apresentava, em Outubro, cerca de 74% de humidade, a

fibra lenhosa cerca de 67% de humidade e as folhas cerca de 77% de humidade (Fernando *et al.*, 2007a).

Quadro 2.1: Produtividade de kenaf, em matéria seca e com humidade, nas colheitas de Outubro (Fernando *et al.*, 2006, 2007 e 2007a)

Fracção da planta	Produtividade (t.ha ⁻¹ , ms)	Produtividade (t.ha ⁻¹ , mh)
Caule Interno	7,0 ± 0,2	21,2 ± 0,7
Caule Externo	3,6 ± 1,4	14,1 ± 5,6
Folhas	4,5 ± 2,1	19,4 ± 9,1
Total	15,2 ± 3,8	54,7 ± 15,5

Para o cálculo do balanço energético foram incluídos todos os passos desde a sementeira e preparação dos campos até à colheita e transporte da biomassa e seu processamento.

Os parâmetros respeitantes à mecanização, uso e produção de energia e painéis, uma vez que não foram directamente determinados, foram estimados com base em dados obtidos na literatura. Considerou-se que a exploração agrícola se localizaria na península de Setúbal, uma vez que esta região possui características climáticas que permitem antever o estabelecimento desta cultura com sucesso (Fernando *et al.*, 2007), numa zona com acesso fácil ao fornecimento de água para irrigação.

Na fase de estabelecimento da cultura há consumo de energia associado à produção e transporte de sementes para a realização da sementeira. Na falta de dados relativos à energia associada à produção de sementes de kenaf e assumindo que a sua produção e transporte, assim como a quantidade necessária para a sementeira por ha são semelhantes á energia associada à produção de sementes de sorgo (Webber *et al.*, 2002), utilizaram-se os dados de Biewinga e van der Bijl (1996) para o sorgo, cerca de 1GJ.ha⁻¹.

Em Portugal, a plantação pode ser realizada desde o início do mês de Maio, desde que a temperatura do solo seja superior a 9,5°C e a temperatura atmosférica média superior a 15°C (Alexopoulou, 2003). A plantação pode ser feita com máquinas convencionais. Foi assumido que a densidade de plantação seria de 40 plantas por m² (Fernando *et al.*, 2007)

A necessidade de adição de fertilizantes é calculada baseada no rendimento esperado e no teor de nutrientes do material vegetal colhido. Os ensaios em campo mostraram que 75 kg de azoto, são suficientes para cobrir a procura de azoto do kenaf. A aplicação de 100 kg (K)

e de 26 kg (P) por ha, anualmente, cobre totalmente a acumulação das plantas em potássio e fósforo (Fernando *et al.*, 2007).

A produção de fertilizantes envolve um consumo energético que tem de ser contabilizado. A produção de fertilizante azotados é o processo energeticamente mais intenso. Para a produção de 1kg de azoto, são necessários 38,6MJ (Melman *et al.*, 1994). O superfosfato (fertilizante fosfatado utilizado nos campos) é principalmente obtido em minérios provenientes do norte da África, sendo necessários $7,6 \text{ MJ.kg}^{-1} \text{ P}$ para a sua extracção e comercialização (Melman *et al.*, 1994). A mineração do potássio requer menos energia do que a mineração do fósforo, uma vez que os depósitos estão mais próximos da superfície terrestre, sendo necessários $3,0 \text{ MJ.kg}^{-1} \text{ K}$ para a sua extracção e comercialização (Melman *et al.*, 1994). O consumo energético associado à produção de fertilizantes inclui todos os gastos da sua fileira.

Depois da sementeira é necessário irrigar. De acordo com Fernando *et al.* (2007), para garantir o correcto desenvolvimento das sementes e para evitar o stress hídrico, é necessária uma aplicação de cerca de 820 mm de água no período decorrente entre a sementeira e o final de Setembro. De acordo com Morais (2003), a energia consumida por cada m^3 de água de rega, em Portugal, equivale a 1,31 MJ.

O trabalho mecânico envolvido no cultivo do kenaf consome uma certa quantidade de energia. De acordo com Ardente *et al.* (2008) o consumo de energia associado a este trabalho corresponde a $2,034 \text{ GJ.ha}^{-1}$. Esse trabalho mecânico corresponde à energia consumida na aplicação dos fertilizantes, na sementeira, no controlo mecânico das ervas daninhas, na colheita e na limpeza do campo após a colheita. O controlo das ervas daninhas é apenas necessário nos primeiros estágios de desenvolvimento da planta, após a sementeira. Actualmente não são conhecidas pragas que se tenham tornado relevantes relativamente ao kenaf (nas variedades em estudo). Sendo assim, não é necessário aplicar pesticidas (Fernando *et al.*, 2007). O trabalho mecânico envolve também a colheita. Como já referido, assumimos que a colheita é realizada em Outubro (figura 2.1). Assume-se que nesta fase, antes de ser estilhado e prensado em fardos é armazenado em campo, para perder alguma da humidade e das folhas. Nesta etapa, assume-se que 50% das folhas ficam no campo e que há uma perda de cerca de 30% da humidade inicial. Após estilhagem e enfardamento o material é armazenado em campo (figura 2.2) até ser transportado para a unidade processadora.



Figura 2.1: Colheita do kenaf (Fonte: K.E.F.I., 2011)



Figura 2.2: Armazenamento do kenaf em campo sob a forma de fardos (Fonte: Webber *et al.*, 2002a)

No transporte, tem de se calcular a energia dispendida entre o local de cultivo e a unidade de processamento. É considerada a ida em separado da volta. Na ida considera-se que o camião vai carregado com a biomassa com humidade (e que ainda tem algumas folhas). Na volta, o camião retorna vazio. Cada camião tem capacidade para transportar cerca de 20 toneladas de carga útil. O valor de energia gasto, é de $0,0008 \text{ GJ} \cdot (\text{t} \cdot \text{km})^{-1}$ na ida e $0,0008 \text{ GJ} \cdot (\text{km})^{-1}$ na volta (Melman *et al.*, 1994). Considera-se que a unidade de processamento do kenaf se situa a uma distância média de 50 km (K.E.F.I., 2011). Considera-se também, que no processo de transporte e depois durante o armazenamento na unidade de processamento, antes da refinação, o material tem perdas até 10% de humidade.

Na unidade de processamento, o primeiro passo é a análise das fibras, em termos da sua qualidade, peso, humidade, impurezas e condições de maceração, após o que os fardos são armazenados, em local seco e arejado (ventilação natural). No processamento do kenaf, os fardos são desfeitos para um tapete rolante e as fibras são enviadas para o processo de

limpeza e refinação, onde se dá o passo da separação da fibra cortical da fibra lenhosa. Maquinaria própria remove a parte cortical da lenhosa. Na K.E.F.I. o processo envolvido na separação utiliza a diferença de densidade das duas partes. Como a fibra cortical é mais leve, é facilmente aspirada para ser utilizada na manufactura dos painéis, enquanto que o resíduo que permanece no tapete é recolhido, para ser canalizado para a produção de energia (Zucchini, 2011). A figura 2.3 mostra alguns passos no processo de limpeza e separação das fibras.

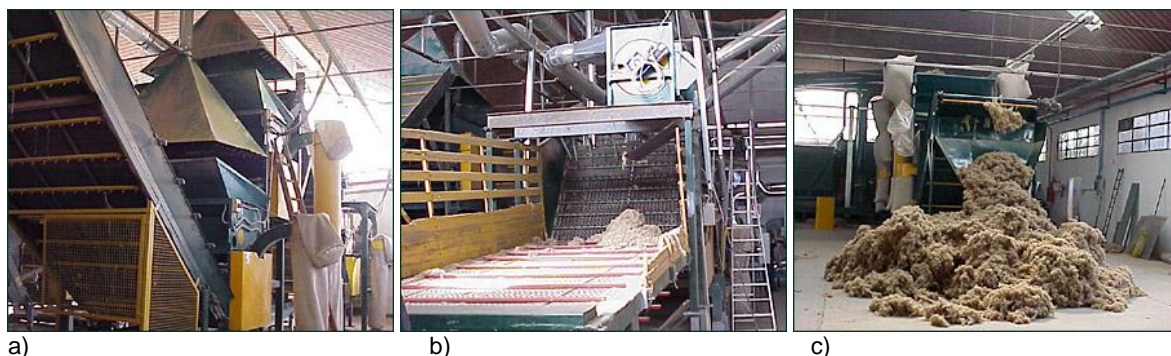


Figura 2.3: Sistema de separação das fibras. a) Aspecto do sistema de aspiração que separa as fibras corticais das fibras lenhosas; b) recolha do resíduo lenhoso; c) recolha da fibra cortical (Fonte: K.E.F.I., 2011)

Neste processo a separação das fibras corticais das fibras lenhosas não é totalmente eficiente. As fibras que são conduzidas para a produção dos painéis representam cerca de 30% do material que aflui à unidade de processamento (Ardente *et al.*, 2008) e contém cerca de 10% de material lenhoso (Lips, 2007). Neste processo o consumo energético é de $120,5 \text{ MJ.t}^{-1}$ de biomassa (Zucchini, 2011). Considera-se que durante o processo de limpeza e refinação das fibras, se verifica uma perda adicional de 10% de humidade.

Na produção de painéis sem adição de poliéster, o processo envolve a ligação entre as fibras corticais por acção de calor. A matéria-prima é enviada para um forno que está regulado para uma temperatura de 160°C - 180°C , e de seguida para uma máquina de moldagem (Zucchini, 2011) da qual se obtém o rolo contendo o material de isolamento (figura 2.4). Este rolo é depois cortado em painéis que são embalados seguindo para a comercialização. De acordo com Zucchini (2008), neste processo é consumida uma energia equivalente a $289,1 \text{ MJ.t}^{-1}$ de biomassa.



Figura 2.4: Sistema de manufactura dos painéis isoladores (Fonte: K.E.F.I., 2011)

No Cenário III e IV, em que se considera a incorporação de poliéster na fibra, as fibras de kenaf correspondem a 85% da massa global e a fibra sintética a 15% da massa global (Ardente *et al.*, 2008). Na incorporação de poliéster na fibra de kenaf, o processo é idêntico ao descrito para a produção de painéis sem adição de poliéster. A temperatura do forno é suficiente para garantir a fusão das fibras sintéticas funcionando como adesivo das fibras de kenaf (Ardente *et al.*, 2008). Neste Cenário, é necessário contabilizar não só a adição em massa de poliéster ao processo (que acarreta custos energéticos) mas também o custo energético associado à produção da fibra sintética. De acordo com Ardente *et al.* (2008), a energia necessária para esta síntese a partir de resina é de 91 GJ.t^{-1} poliéster. No entanto, podem ser utilizadas fibras de poliéster recicladas, por exemplo, resíduos da indústria têxtil. O consumo energético associado à produção destes resíduos é 50 a 90% inferior ao da produção de fibra sintética (Ardente *et al.*, 2008). Ou seja, em média, é necessário cerca de $27,3 \text{ GJ.t}^{-1}$. Neste estudo considerámos, portanto, a utilização de fibra de poliéster reciclada.

Na figura 2.5 apresentam-se os dois painéis considerados neste estudo. O quadro 2.2 apresenta as propriedades associadas a estes painéis, de acordo com a informação fornecida pelos produtores.



Figura 2.5: Painéis isoladores: a) sem adição de poliéster; b) com adição de poliéster (Fonte: Lips, 2007; K.E.F.I., 2011)

Quadro 2.2: Propriedades associadas aos painéis isoladores, de acordo com a informação fornecida pelos produtores.

Propriedades	Painel isolador sem poliéster (Zucchini, 2011)	Painel isolador com adição de poliéster (Ardente <i>et al.</i> , 2008)
λ ($\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$)	0,039	0,038
ρ (kg.m^{-3})	40	40
s (mm)	40	38
Massa* (kg)	1,56	1,52

* - massa de painel isolador necessária para se obter uma resistência térmica (R) de $1 \text{ m}^2.\text{K.W}^{-1}$.
 Massa = $R.\lambda.\rho.A$, em que, R é a resistência térmica de $1 \text{ m}^2.\text{K.W}^{-1}$; λ , a condutividade térmica medida em $\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$; ρ , a densidade do produto isolador em kg.m^{-3} ; A , a área de 1 m^2 .

Após a produção e embalagem dos painéis, estes são transportados e comercializados. Uma vez que é um produto que pode ser não só utilizado em Portugal mas também por países terceiros, considerou-se uma distância média de 400km. Neste caso considerou-se só a ida, uma vez que na volta o camião pode ser utilizado para o transporte de outro tipo de carga. O valor de energia gasto, é de $0,0008 \text{ GJ}.\text{(t.km)}^{-1}$ (Melman *et al.*, 1994). Considera-se que no processo de fabrico, o painel perde humidade retendo ainda cerca de 10%. Considera-se que a instalação dos painéis nos edifícios é negligenciável uma vez que o painel é instalado manualmente e não necessita de manutenção quando incorporado nas paredes dos edifícios.

O resíduo obtido após a limpeza e refinação das fibras é canalizado para a produção de energia. O teor de matéria seca deste resíduo é de cerca de 60%, o que é suficiente para a combustão, não sendo necessário um processo adicional de secagem da biomassa (Barroso, 2001).

Considerando os Cenários I e III, os resíduos são queimados numa Central Térmica de pequena dimensão existente na própria unidade. Na conversão energética na Central, a energia necessária ao processo é igual a $0,27 \text{ GJ.t}^{-1}$ (Biewinga e van der Bijl, 1996).

Considerando os Cenários II e IV, os resíduos são peletizados na própria unidade sendo depois embalados e comercializados para serem queimados em sistemas domésticos. Assume-se que o sistema de peletização consome $1,0 \text{ GJ.t}^{-1}$ (Acaroglu e Aksoy, 2005) embora este dado seja referente à produção de briquettes de *Miscanthus*. No entanto, considerou-se que a maquinaria e a energia necessárias ao processo não seria muito diferente na produção de peletes a partir da fibra lenhosa de kenaf. Na produção de peletes, considera-se que o material perde humidade devido à energia térmica da máquina. Assume-se que o produto final apresenta uma humidade de cerca de 25% ou inferior. As peletes depois de embaladas seguem para a comercialização sendo transportados até ao circuito de distribuição e utilização. Nos Cenários II e IV, considera-se uma distância média de 150 km entre a unidade produtora de peletes e a unidade doméstica de utilização das peletes. O valor de energia gasto, é de $0,0008 \text{ GJ.(t.km)}^{-1}$ (Melman *et al.*, 1994). Neste caso considerou-se só uma viagem, uma vez que os meios de transporte utilizados podem transportar outro tipo de carga no caminho inverso. A utilização da caldeira de peletes assume um consumo eléctrico de 280 W (em média), necessário para a ignição eléctrica e para o motor de extração de fumos. Considerando um consumo médio de 1,8 kg de peletes por hora, a energia necessária ao processo corresponde a $0,56 \text{ GJ.t}^{-1}$ (Cipriano, 2010).

Na conversão energética dos resíduos considerou-se que estes eram compostos maioritariamente pela fibra lenhosa, tendo-se utilizado os seguintes valores:

- Poder calorífico da fibra lenhosa do kenaf = $15,6 \text{ GJ.t}^{-1}$ (matéria seca) (Fernando *et al.*, 2008).
- Rendimento térmico garantido da Central Térmica de Biomassa de pequena dimensão, com 0,1MW de potência instalada - 74% (Jones e Walsh, 2001).
- Rendimento térmico garantido na caldeira de peletes - 90% (Cipriano, 2010).

Para os diversos cenários foi contabilizado o balanço energético e a eficiência energética.

Balanço Energético GJ/ha, por ano, para se obter este valor é necessário efectuarem-se os seguintes cálculos:

$$\text{Balanço Energético (GJ/ha, por ano)} = \text{produção energética} - \text{consumo energético}$$

Eficiência energética, este campo não tem unidades, visto tratar se de uma razão, para se calcular esta razão é necessário dividir o valor obtido na produção energética pelo consumo global de energia.

$$\text{Eficiência energética} = \frac{\text{Produção energética}}{\text{consumo energético}}$$

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Balço energético da utilização de kenaf na produção de energia e painéis isoladores, em Portugal

Os resultados referentes à avaliação do balço energético e da eficiência energética da utilização de kenaf na produção de energia e painéis isoladores, em Portugal, para os quatro cenários estudados, são apresentados no quadro 3.1.

Quadro 3.1: Balço energético e eficiência energética da utilização de kenaf na produção de energia e painéis isoladores, em Portugal.

Fases do processo		Energia (GJ.ha ⁻¹)			
		Cenários			
		I	II	III	IV
Cultivo e transporte até à unidade processadora	N - Fertilizantes	2,90	2,90	2,90	2,90
	P - Fertilizantes	0,20	0,20	0,20	0,20
	K - Fertilizantes	0,30	0,30	0,30	0,30
	Produção de sementes	1,00	1,00	1,00	1,00
	Trabalho mecânico	2,03	2,03	2,03	2,03
	Rega	10,74	10,74	10,74	10,74
	Transporte até à unidade processadora	1,06	1,06	1,06	1,06
Consumo energético até à unidade processadora		18,23	18,23	18,23	18,23
Manufatura dos painéis	Refinação das fibras	2,81	2,81	2,81	2,81
	Manufatura dos painéis	1,87	1,87	2,20	2,20
	Produção de poliéster	-	-	31,38	31,38
Consumo energético associado à produção de painéis		4,68	4,68	36,39	36,39
Transporte, uso e conversão dos resíduos	Transporte dos painéis	1,37	1,37	1,74	1,74
	Conversão energética dos resíduos na fábrica	4,07	-	4,07	-
	Produção de peletes	-	15,09	-	15,09
	Transporte de peletes	-	1,45	-	1,45
	Conversão energética das peletes	-	6,76	-	6,76
Consumo energético associado ao transporte e uso		5,45	24,67	5,81	25,04
Consumo total de energia		28,36	47,58	60,44	79,66
Produção de energia na Central térmica na fábrica		104,51	-	104,51	-
Produção de energia a partir das peletes		-	127,11	-	127,11
Produção total de energia		104,51	127,11	104,51	127,11
Balço energético		76,15	79,53	44,08	47,45
Eficiência energética		3,69	2,67	1,73	1,60

Em todos os Cenários pode verificar-se que as eficiências são superiores à unidade e que o balanço energético é positivo. Portanto, considerando o aspecto energético, pode ser uma possibilidade, em Portugal, a utilização do kenaf para a produção de energia e de painéis isoladores.

Como podemos verificar, da análise do quadro 3.1, onde se apresenta o estudo efectuado para os quatro cenários, verifica-se que o cenário mais vantajoso é o Cenário II, se considerarmos o balanço energético, ou seja a quantidade de energia que se consegue obter por ha, por ano. Ou seja, apesar de se consumir mais energia na produção e uso das peletes, como o rendimento térmico garantido da caldeira de peletes é superior, o balanço energético obtido apresenta um resultado ligeiramente superior ao obtido quando os resíduos são queimados na fábrica. A utilização de poliéster na manufactura dos painéis vem desfavorecer o balanço energético uma vez que na produção de poliéster, o consumo energético associado é significativamente elevado.

Se considerarmos a eficiência energética, ou seja a razão entre a quantidade de energia produzida por energia consumida, então o cenário mais vantajoso é o Cenário I, onde o consumo total de energia é mais reduzido, embora em termos de produção energética não seja o mais elevado. Os valores de ganhos líquidos e de eficiência energética calculados são inferiores aos apresentados por Venturi e Monti (2005)(6-25, em termos de eficiência e 130-313 GJ.ha⁻¹, em termos de ganhos líquidos), mas no estudo indicado todo o kenaf era submetido a aproveitamento energético.

A figura 3.1 apresenta a energia necessária para a produção, transporte e conversão do kenaf em energia e painéis isoladores. Na análise da figura 3.1 e do quadro 3.1, verifica-se que a rega (para todos os cenários), a produção de peletes (nos cenários II e IV) e a produção de poliéster (nos cenários III e IV) são os factores que mais contribuem para o consumo energético.

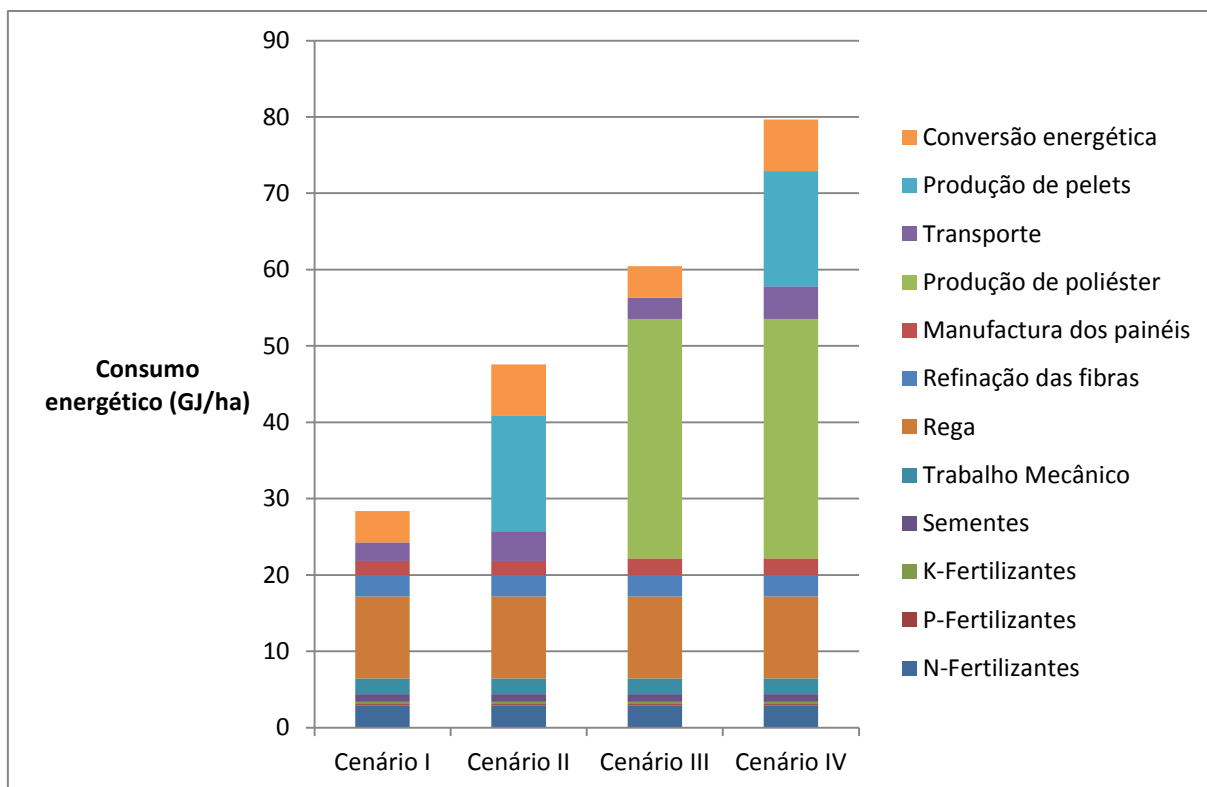


Figura 3.1: Energia necessária para a produção, transporte e conversão do kenaf em energia e painéis isoladores, para os cenários apresentados.

3.2 Análise de Sensibilidade

Relativamente, aos cenários analisados anteriormente, através de uma análise de sensibilidade, pretende-se avaliar a influência de algumas variáveis na eficiência energética.

3.2.1 N - Fertilizante

No estudo em causa, a quantidade de N administrada na cultura é feita variar verificando-se quais as consequências perante a eficiência energética. A variação da administração de azoto pode implicar variação na produtividade, o que afecta a produção de energia (quadro 3.2 e figura 3.2). Há também algumas alterações nos valores da humidade mas muito pouco relevantes (Fernando *et al*, 2007a).

Quadro 3.2: Eficiência energética, para várias quantidades de N – Fertilizante administradas (dados de produtividade de Fernando *et al*, 2007)

		Quantidade de N - Fertilizante		
		0 kg.ha ⁻¹	75 kg.ha ⁻¹	120 kg.ha ⁻¹
Produtividade caule interno (t.ha ⁻¹ , ms)		7,2	7,0	8,9
Produtividade caule externo (t.ha ⁻¹ , ms)		3,5	3,6	4,5
Produtividade folhas (t.ha ⁻¹ , ms)		3,7	4,5	4,6
Produtividade total (t.ha ⁻¹ , ms)		14,5	15,2	18,0
Eficiência energética	Cenário I	4,05	3,69	3,79
	Cenário II	2,82	2,67	2,71
	Cenário III	1,81	1,73	1,75
	Cenário IV	1,65	1,60	1,61

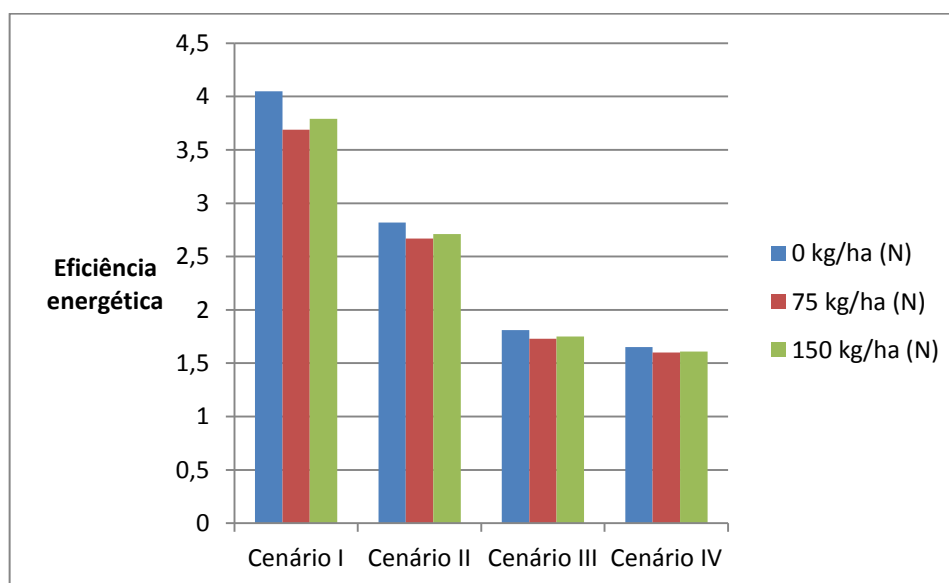


Figura 3.2: Representação gráfica da eficiência energética, para várias quantidades de N – Fertilizante administradas

Os resultados apresentados indicam que, quer não aplicando azoto quer aumentando a quantidade administrada, se verifica um aumento na eficiência energética em todos os Cenários, embora esse aumento seja superior se não for adicionado N-fertilizante aos campos (o que até é benéfico em termos de redução das emissões de azoto para a atmosfera, solos e águas). No entanto, há que ter em conta que a não fertilização do campo com azoto pode levar à depleção deste nutriente no solo, o que pode influenciar o crescimento e produção de kenaf.

3.2.2 Rega

No estudo em causa, a quantidade de água administrada à cultura é feita variar verificando-se quais as consequências perante a eficiência energética. A variação da administração de

água pode implicar variação na produtividade, o que afecta a produção de energia e a eficiência energética (quadro 3.3 e figura 3.3). Há também algumas alterações nos valores da humidade mas muito pouco relevantes (Fernando *et al*, 2007a).

Quadro 3.3: Eficiência energética, para várias quantidades de água administradas (dados de produtividade de Fernando *et al*, 2007)

		Quantidade de Água		
		420 mm	550 mm	820 mm
Produtividade caule interno (t.ha ⁻¹ , ms)		4,5	5,7	7,0
Produtividade caule externo (t.ha ⁻¹ , ms)		2,5	3,3	3,6
Produtividade folhas (t.ha ⁻¹ , ms)		2,9	4,6	4,5
Produtividade total (t.ha ⁻¹ , ms)		9,8	13,6	15,2
Eficiência energética	Cenário I	3,48	3,92	3,69
	Cenário II	2,58	2,77	2,67
	Cenário III	1,68	1,78	1,73
	Cenário IV	1,56	1,63	1,60

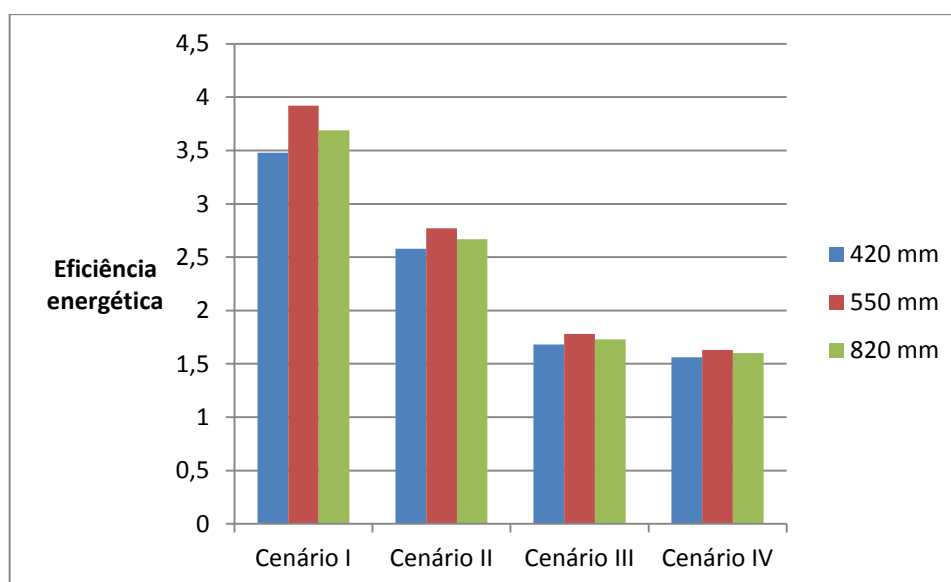


Figura 3.3: Representação gráfica da eficiência energética, para várias quantidades de água administradas

Os resultados apresentados indicam que a diminuição da quantidade de água administrada afecta negativamente a produtividade. No entanto, quando o nível de água a aplicar é de 550 mm, embora a produtividade seja mais reduzida, a eficiência energética aumenta, em todos os Cenários, pois a rega representa uma parcela importante no consumo de energia e a perda de produtividade não é tão significativa. No caso de se aplicar apenas 420 mm de água, a redução de produtividade é muito significativa. Como tal, a redução do consumo energético associado à diminuição da quantidade de água utilizada na rega não é suficiente para contrabalançar a redução associada à menor produção de energia, e os resultados da eficiência energética obtidos são os mais reduzidos. Na situação de Portugal, em que os

recursos hídricos são escassos, este resultado indica que, em termos de sustentabilidade, a opção de reduzir a água a administrar pode ser uma opção a considerar.

3.2.3 Produtividade

Neste caso pretende avaliar-se a variação na eficiência energética quando a produtividade é alterada (pode aumentar devido ao melhoramento da espécie ou diminuir, com a ocorrência de pragas). Considera-se um aumento e uma redução de 20% na produção (quadro 3.4 e figura 3.4).

Quadro 3.4: Eficiência energética, para diferentes valores de produtividade

		Factor multiplicativo		
		0,8	1	1,2
Produtividade total (t.ha ⁻¹ , ms)		12,1	15,2	18,2
Eficiência energética	Cenário I	3,20	3,69	4,10
	Cenário II	2,45	2,67	2,84
	Cenário III	1,61	1,73	1,82
	Cenário IV	1,51	1,60	1,66

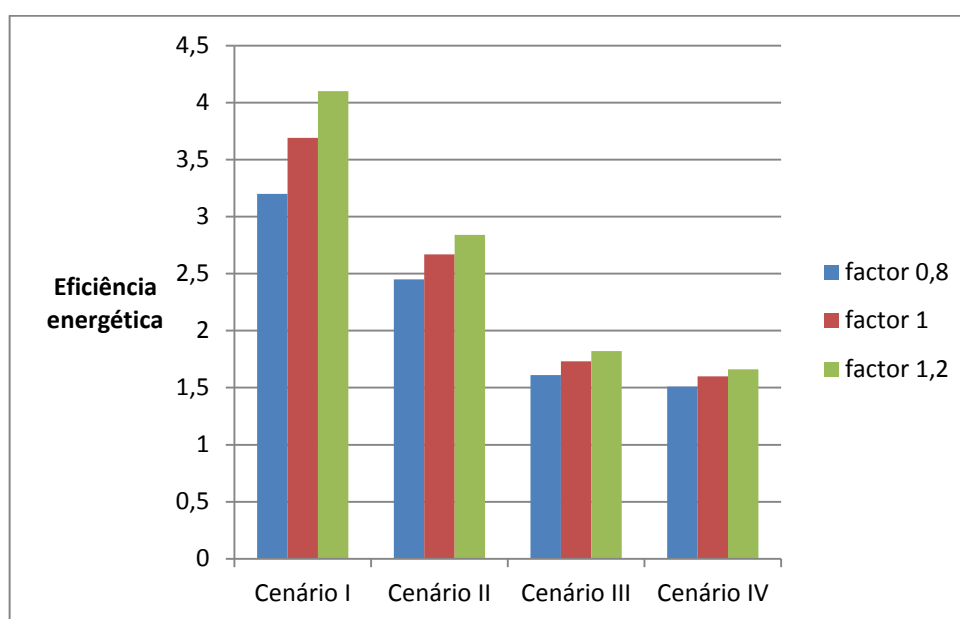


Figura 3.4: Gráfico representativo da eficiência energética para diferentes valores de produtividade

Verifica-se que à medida que a produtividade aumenta, não sendo alterados os restantes factores, o resultado da eficiência energética, também aumenta, em qualquer dos Cenários, embora de forma mais significativa no Cenário I.

3.2.4 Data da colheita

No estudo, considerou-se que a colheita seria realizada em Outubro, após a floração, quando a planta ainda apresenta um teor de humidade elevado e muita folhagem. Outra possibilidade é a colheita ser mais tardia, em Dezembro. Nesta situação, a humidade da cultura diminui (caule interno, 59%, caule externo, 69%, as folhas mantiveram a mesma humidade, cerca de 76%)(Fernando *et al.*, 2007a). Não se verificaram diferenças significativas, quer a nível da produtividade em fibra (caules) quer a nível da qualidade da biomassa (Fernando *et al.*, 2007).

Quadro 3.5: Eficiência energética, para diferentes datas de colheita (dados de produtividade de Fernando *et al.*, 2007)

		Data da colheita	
		Outubro	Dezembro
Produtividade caule interno (t.ha ⁻¹ , ms)		7,0	7,0
Produtividade caule externo (t.ha ⁻¹ , ms)		3,6	4,2
Produtividade folhas (t.ha ⁻¹ , ms)		4,5	0,3
Produtividade total (t.ha ⁻¹ , ms)		15,2	11,5
Eficiência energética	Cenário I	3,69	3,52
	Cenário II	2,67	2,64
	Cenário III	1,73	1,76
	Cenário IV	1,60	1,64

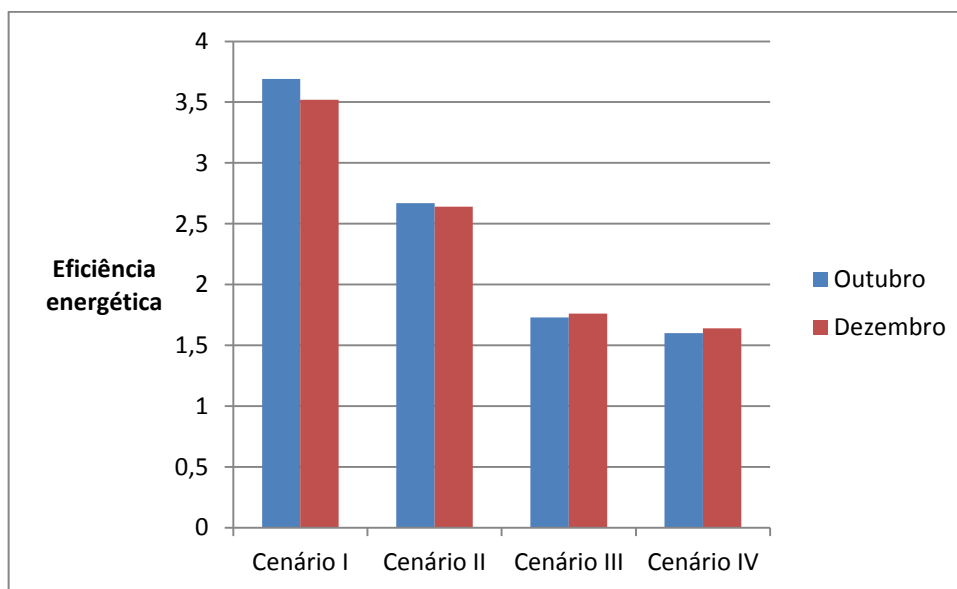


Figura 3.5: Gráfico representativo da eficiência energética, para diferentes datas de colheita

Neste caso de estudo, para o Cenário I, verifica-se que a melhor altura para se realizar a colheita é em Outubro, em termos da eficiência energética (Quadro 3.5 e figura 3.5). Nos restantes Cenários, não se verificam diferenças significativas.

3.2.5 Distância

Pretende-se analisar, com esta variável, a variação da eficiência energética, quando aumentamos ou diminuimos o número de km associados ao transporte, isto é quando aumentamos ou diminuimos, a distância entre a exploração agrícola e a unidade de processamento ou entre esta e o local de utilização dos produtos. Neste caso, assumimos que as distâncias podem ser mais curtas (multiplicamos as actuais distâncias por 0,5) ou mais longas (multiplicamos por 1,5)(quadro 3.6 e figura 3.6).

Quadro 3.6: Eficiência energética, para diferentes distâncias

		Factor multiplicativo		
		0,5	1	1,5
Eficiência energética	Cenário I	3,85	3,69	3,53
	Cenário II	2,79	2,67	2,57
	Cenário III	1,77	1,73	1,69
	Cenário IV	1,64	1,60	1,55

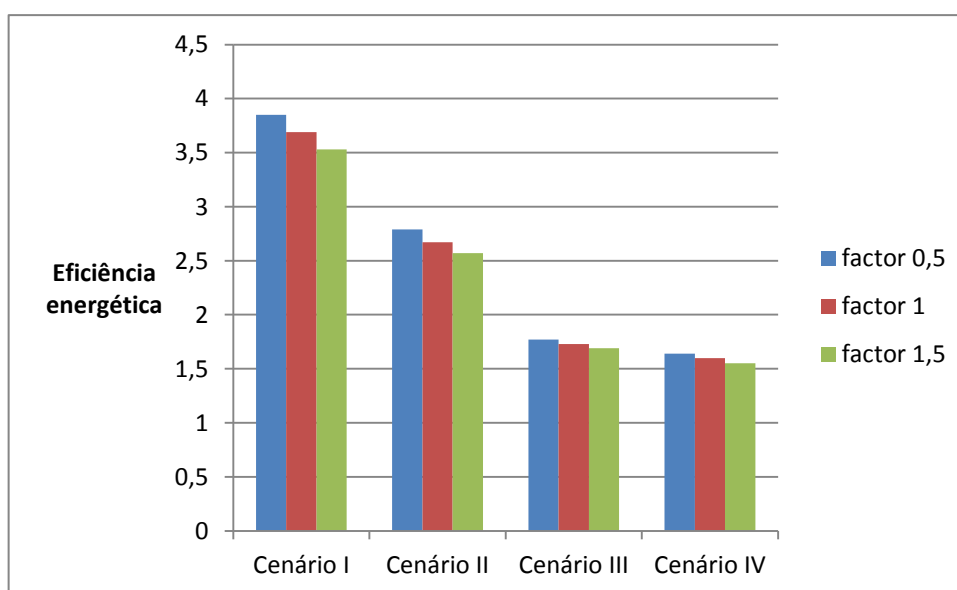


Figura 3.6: Gráfico representativo da eficiência energética, para diferentes distâncias

Perante os valores obtidos, o que se verifica, em qualquer um dos cenários é que com o aumento da distância, a eficiência energética diminui. Esta diminuição apresenta mais significado no Cenário I.

3.2.6 Rendimento térmico

Neste caso assume-se que os rendimentos térmicos dos equipamentos (Central Térmica e caldeira) podem melhorar 10% face aos actuais (quadro 3.7 e figura 3.7).

Quadro 3.7: Eficiência energética, para diferentes rendimentos térmicos dos equipamentos

		Actual	Melhoria de 10%
Eficiência energética	Cenário I	3,69	4,05
	Cenário II	2,67	2,94
	Cenário III	1,73	1,90
	Cenário IV	1,60	1,76

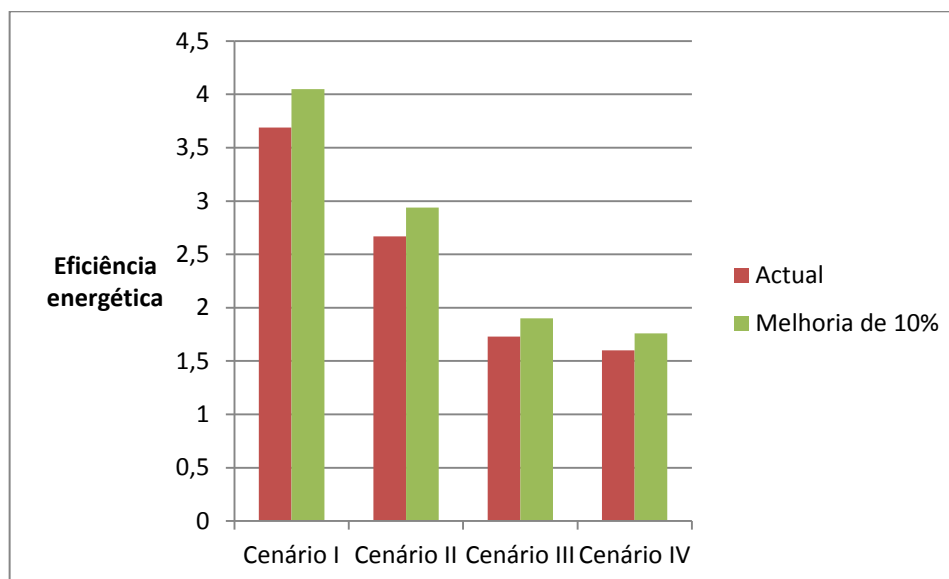


Figura 3.7: Gráfico representativo da eficiência energética, para diferentes rendimentos térmicos dos equipamentos

Com base nos valores obtidos e como seria de esperar, caso o rendimento aumentasse, os valores da eficiência energética também aumentam, em qualquer um dos cenários.

3.2.7 Recuperação da energia contida nos painéis no fim do tempo de vida dos edifícios

Neste caso assume-se que no final do tempo de vida dos edifícios, se possa recuperar a energia contida nos painéis. Neste caso considera-se apenas o ganho energético associado à queima dos painéis. Não é contabilizado o gasto de energia na remoção e transporte dos painéis do edifício até ao local da queima. Neste cálculo, considerámos que os painéis seriam queimados numa Central de grandes dimensões. Na conversão energética na Central, a energia necessária ao processo é igual a $0,27 \text{ GJ.t}^{-1}$ (Biewinga e van der Bijl, 1996). Na conversão energética dos resíduos de painéis considerou-se que estes eram compostos maioritariamente pela fibra cortical, tendo-se utilizado os seguintes valores:

- Poder calorífico da fibra cortical do kenaf = $13,3 \text{ GJ.t}^{-1}$ (matéria seca) (Fernando *et al.*, 2008).

- Poder calorífico do poliéster = $25,1 \text{ GJ.t}^{-1}$ (INSHT, 2011)
- Rendimento térmico garantido da Central Térmica de Biomassa de grande dimensão, - 81% (Barroso, 2001).

Os resultados obtidos considerando esta recuperação energética são apresentados no quadro 3.8 e figura 3.8.

Quadro 3.8: Eficiência energética, considerando o estudo inicial e a recuperação da energia associada aos painéis

Eficiência energética		Actual	Com recuperação energética dos painéis
	Cenário I	3,69	4,95
	Cenário II	2,67	3,46
	Cenário III	1,73	2,74
	Cenário IV	1,60	2,37

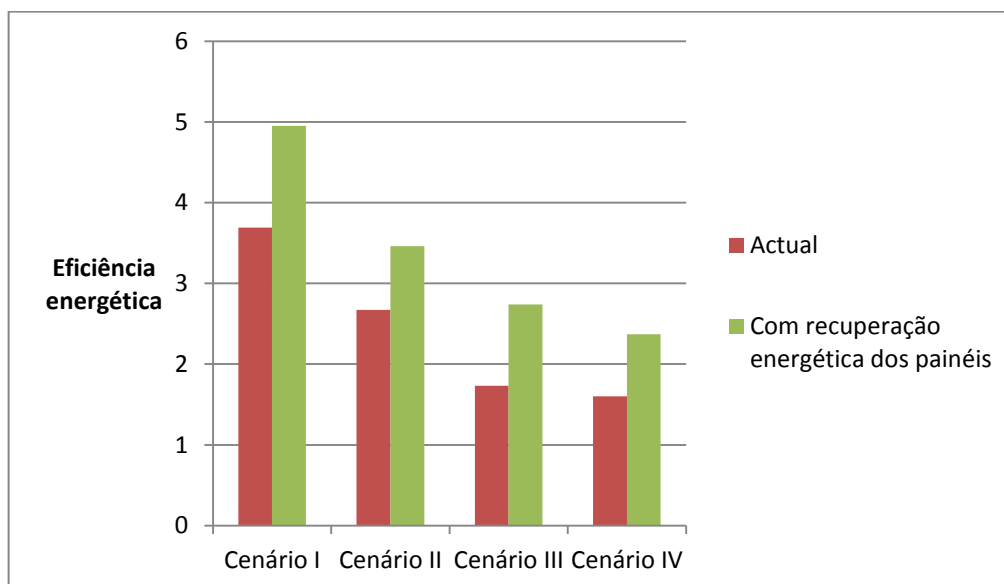


Figura 3.8: Gráfico representativo da eficiência energética, considerando o estudo inicial e a recuperação da energia associada aos painéis

3.2.8 Análise global

A Figura 3.9 mostra, para o caso do Cenário 1, como a análise de sensibilidade pode fazer variar a eficiência energética.

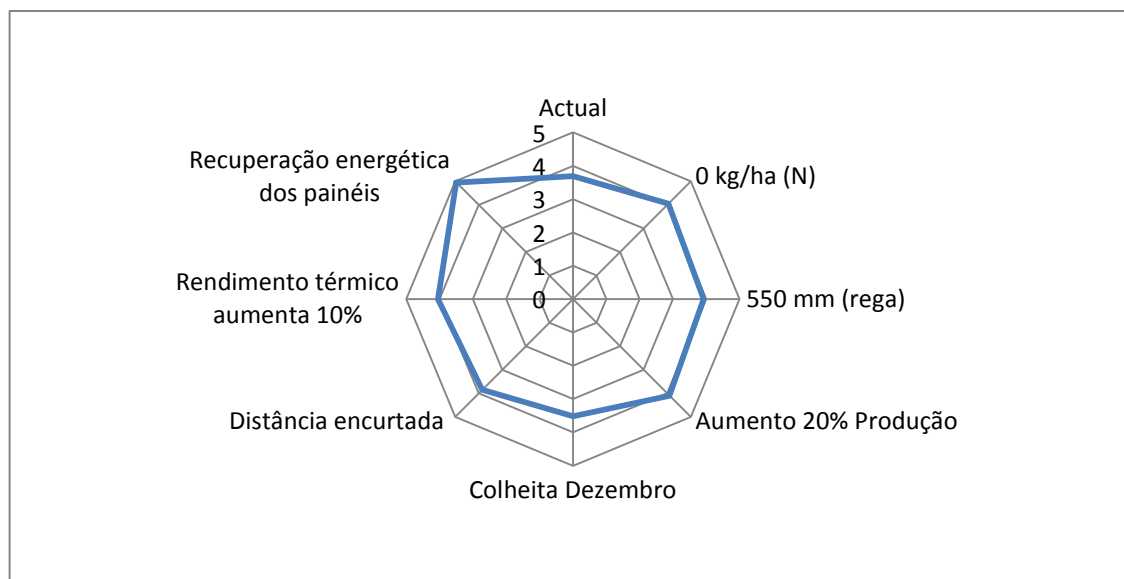


Figura 3.9: Variação da eficiência energética do Cenário 1, tendo em conta os parâmetros modificados na análise de sensibilidade.

Da análise do gráfico apresentado na figura 3.9, verifica-se que os factores estudados que mais afectaram a eficiência energética do sistema foram a não aplicação de fertilizante azotado, o aumento de 20% na produtividade, o aumento do rendimento térmico dos equipamentos, e muito significativamente, a possibilidade de recuperação da energia associada aos painéis isoladores. Pela negativa, se a colheita for efectuada em Dezembro há uma ligeira quebra na eficiência.

4 CONCLUSÕES

O kenaf possui uma capacidade calorífica elevada e nas condições pedoclimáticas da zona do estuário do Tejo, sem limitação de água, podem ser alcançados elevados rendimentos. Este facto permite considerar promissora esta cultura, em termos da sua valorização energética e industrial (e económica), especialmente num país como Portugal onde não existem recursos conhecidos de recursos fósseis, em condições economicamente exploráveis.

Neste sentido, pretendeu-se com este trabalho, avaliar o balanço energético da produção e utilização de kenaf, como factor de sustentabilidade energética e de melhoria do ambiente térmico em edifícios, tendo em conta as condições de Portugal. Neste contexto, o balanço energético da produção e utilização do kenaf na produção de painéis integrados para isolamento térmico foi avaliado com base na análise do ciclo de vida.

Diversos cenários foram considerados neste estudo. Foram testadas duas hipóteses na produção de painéis de isolamento: a) inteiramente à base de fibra cortical do kenaf; b) uma matriz de poliéster é incorporada na fibra cortical do kenaf. Como a fibra lenhosa apresenta uma capacidade calorífica muito elevada, podendo ser aproveitada economicamente na produção de energia, estudaram-se também duas soluções: a) a fibra lenhosa é utilizada pela empresa produtora de painéis numa Central Térmica de pequena dimensão; b) A fibra lenhosa é canalizada para a produção de peletes, que são comercializadas para serem queimadas em sistemas domésticos.

De acordo com os resultados obtidos, apresentados e discutidos, verifica-se que, em todos os cenários estudados, as eficiências são superiores à unidade e que o balanço energético é positivo. Portanto, considerando o aspecto energético, pode ser uma possibilidade, em Portugal, a utilização do kenaf para a produção de energia e de painéis isoladores.

Se considerarmos o balanço energético, o cenário mais vantajoso é o Cenário II. Neste cenário, o maior consumo energético associado à produção e uso das peletes é contrabalançado pelo superior rendimento térmico da caldeira de peletes. A utilização de poliéster reciclado na manufactura dos painéis vem desfavorecer o balanço energético uma vez que a sua produção apresenta um custo energético significativamente elevado.

Se considerarmos a eficiência energética, então o cenário mais vantajoso é o Cenário I, no qual os resíduos são queimados numa Central de pequena dimensão localizada na unidade de manufactura dos painéis. Neste cenário, o consumo total de energia é mais reduzido, embora em termos de produção energética não seja o mais elevado (a produção de peletes é mais produtiva devido à superior eficiência da caldeira de peletes).

A rega (para todos os cenários), a produção de peletes (nos cenários II e IV) e a produção de poliéster (nos cenários III e IV) são os factores que mais contribuem para o consumo energético.

No estudo, foi feita uma análise de sensibilidade, em que se pretendeu avaliar a influência de determinados factores, na eficiência energética. Foram estudados factores relacionados com a produção agrícola da cultura, como o nível de fertilização azotada, a irrigação, a data da colheita e a produtividade, assim como factores relacionados com o seu processamento e utilização, como as distâncias transportadas, o rendimento energético das unidades produtoras de energia e a possibilidade de recuperação da energia contida nos painéis, no final do tempo de vida dos edifícios.

Após uma avaliação dos resultados obtidos, verifica-se, na análise de sensibilidade efectuada, que os factores estudados que mais afectaram a eficiência energética do sistema foram o nível de aplicação de fertilizante azotado, a produtividade da cultura, o rendimento térmico das unidades geradoras de energia e mais significativamente, a possibilidade de recuperação da energia associada aos painéis isoladores.

Não aplicar o fertilizante azotado contribui para o aumento da eficiência, até porque as diferenças na produtividade com e sem fertilizante azotado não são significativas (talvez devido à água utilizada na rega que pode ter muitos nitratos). Mas esta situação a longo prazo pode levar à depleção no solo, deste nutriente. Portanto, esta situação teria de ser acautelada. A eficiência energética aumenta também se o rendimento das unidades geradoras de energia também aumentar e se se conseguir melhorar a espécie no sentido do aumento da sua produtividade. Recuperar a energia associada aos painéis isoladores no final do tempo de vida do edifício incrementa muito significativamente a eficiência energética do processo.

Os resultados obtidos na análise de sensibilidade indicam também que a irrigação com menor quantidade de água (apenas 550 mm), a colheita em Outubro (sobretudo no cenário I), e a diminuição das distâncias, contribuem para o aumento da eficiência energética da utilização do kenaf para produção de energia e de painéis isoladores, mas com menor significado que os factores anteriormente descritos.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acaroglu, M., Aksoy, A.S. 2005. The cultivation and energy balance of *Miscanthus x giganteus* production in Turkey, *Biomass and Bioenergy*, 29, 42–48
- Akil, H.M., De Rosa, I.M., Santulli, C., Sarasini, F. 2010. Flexural behaviour of pultruded jute/glass and kenaf/glass hybrid composites monitored using acoustic emission, *Materials Science and Engineering A*, 527, 2942–2950
- Akil, H.M., Omar, M.F., Mazuki, A.A.M., Safiee, S., Ishak, Z.A.M., Abu- Bakar, A. 2011. Kenaf fiber reinforced composites: A review, *Materials and Design*, 32, 4107–4121
- Alexopoulou, E., Cosentino, S.L., Danalatos, N., Venturi, G., Fernando, A.L., Tenorio, J.L., Cadoux, S., Veccheit, M., Kipriotis, E. 2009. Biomass Yields of kenaf in Europe: Effect of site, year and cultural practices on yields. In: De Santi, G.F., Dallemand, J.F. Ossenbrink, H., Grassi, A., Helm, P. (eds) *Proceedings of the 17th European Biomass Conference and Exhibition, From Research to Industry and Markets*. 29 June - 3 July 2009, Hamburg, Germany, ETA-Renewable Energies and WIP-Renewable Energies, 138-141 (ISBN 978-88-89407-57-3).
- Alexopoulou, E. 2003. *Literature review*, Biokenaf Project, Athens, Greece, 25 p.
- Ardente, F., Beccali, M., Cellura, M., Mistretta, M. 2008. Building energy performance: A LCA case study of kenaf-fibres insulation board, *Energy and Buildings*, 40, 1-10.
- Barbosa, B.M.G. 2010. *Utilização de Águas Residuais Tratadas na Irrigação de Kenaf (Hibiscus Cannabinus L.) - Efeito do ião amónio*. Dissertação apresentada na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa para obtenção do grau de Mestre em Energia e Bioenergia. Monte da Caparica, 101 p.
- Barroso, V.C. 2001. Bioenergia sob a perspectiva de uma empresa de electricidade – a central termoeléctrica de Mortágua. *Livro de actas do Workshop Internacional Biomassa e Energia - Economia, Mercados e Oportunidades*. Instituto Superior de Agronomia, Lisboa, 15 e 16 de Outubro, 11-19.
- Biewinga, E.E., van der Bijl, G. 1996. Sustainability of energy crops in Europe. A methodology developed and applied. Centre for Agriculture and Environment, Utrecht, CLM 234 -1996, 209 p.
- Catroga, A. M. D. 2009. *Contributo para o estudo das potencialidades do Kenaf (Hibiscus cannabinus L.) na fitorremediação de solos contaminados com metais pesados*. Dissertação apresentada na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa para obtenção do Grau de Mestre em Bioenergia. Lisboa, 104 p.
- Cipriano, P.A.C. 2010. *Balanço energético da utilização de Miscanthus na produção de energia, em Portugal*, Dissertação apresentada na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa para obtenção do Grau de Mestre em Energia e Bioenergia, Caparica, 52 p.

- El Bassam, N. 1998. *Energy plant species*. Londres, Reino Unido : James & James (Science Publishers) Ltd, 321 p.
- FAO. 2011. *June, kenaf, Sisal, Abaca, Coir and Allied Fibres - Statistics*. s.l. : Food and Agriculture Organization of the United Nations, CCP: JU/HF/ ST / 2011/1, 60 p.
- Fernando, A.L., Duarte, M.P., Morais, J., Catroga, A., Serras, G., Lobato, N., Mendes, B., Oliveira, J.F.S. 2006. *Biomass Production Chain and Growth Simulation Model for kenaf - Biokenaf, Individual progress report for the period 1st April 2005 to 28th February 2006* (E.U. contract QLK5-CT2002-01729). Grupo de Disciplinas de Ecologia da Hidrosfera, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 61 p.
- Fernando, A.L., Duarte, M.P., Morais, J., Catroga, A., Serras, G., Lobato, N., Mendes, B., Oliveira, J.F.S. 2007. *Biomass Production Chain and Growth Simulation Model for kenaf - Biokenaf, Final Report 1st March 2003 to 28th February 2007* (E.U. contract QLK5-CT2002-01729). Grupo de Disciplinas de Ecologia da Hidrosfera, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 46 p.
- Fernando, A.L., Duarte, M.P., Morais, J., Catroga, A., Serras, G., Lobato, N., Mendes, B., Oliveira, J.F.S. 2007a. *Resultados do Projecto "Biomass Production Chain and Growth Simulation Model for kenaf - Biokenaf"* (E.U. contract QLK5-CT2002-01729). Grupo de Disciplinas de Ecologia da Hidrosfera, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, dados não publicados.
- Fernando, A., Morais, J., Mendes, B., Oliveira, J.F.S. 2008. Is kenaf an effective land-use alternative for the energy and industrial sectors in Portugal? *Proceedings of the International Conference: Bioenergy: Challenges and Opportunities*, 6th –9th April 2008, Universidade do Minho, Guimarães, Portugal, Cebio: Rede de Competência para a Bioenergia, 237-242 (ISBN: 978-989-20-0741-0).
- Fernando, A.L., Duarte, M.P., Almeida, J., Boléo S., Mendes, B. 2010. Environmental impact assessment of energy crops cultivation in Europe. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 4, 594–604.
- INSHT 2011. *Poder calorífico (q) de diversas sustancias*, Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales, Instituto Nacional de Seguridad e Hygiene en el Trabajo, Espanha [Online] 2011. [Citação: 17 de Setembro de 2011.] http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Normativa/TextosLegales/RD/2004/2267_04/Ficheros/tabla1_4.pdf
- Jones, M.B., Walsh, M. 2001. *Miscanthus for energy and fibre*, James & James (Science Publishers) Ltd, Londres, Reino Unido, 192 p.
- Juliana, A.H., Paridah, M.T., Rahim, S., Azowa, I.N., Anwar, U.M.K. 2012. Properties of particleboard made from kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) as function of particle geometry, *Materials and Design*, 34, 406–411.
- Kenaf Eco Fibers Italy S.p.A. 2011. K.E.F.I. SpA. *Kenaf-fiber*. [Online] 2011. [Citação: 10 de Setembro de 2011.] <http://www.kenaf-fiber.com/>.

- Kalaycioglu, H., Nemli, G. 2006. Producing composite particleboard from kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) stalks, *Industrial Crops and Products*, 24, 177–180.
- Lee S. A., Eiteman M. A, 2001. Ground kenaf core as a filtration aid, *Industrial Crops and Products*, 13, 155–161.
- Lips, S. 2007. *Final report of A & F, Biokenaf Project*, 52 p.
- Lips, S.J.J., de Heredia, G.M.I, Op den Kamp, R.G.M., van Dam, J.E.G. 2009. Water absorption characteristics of kenaf core to use as animal bedding material, *Industrial crops and products*, 29, 73–79.
- Liu, Y. 2005. Diallel and stability analysis of Kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) in South Africa. Dissertação de Mestrado, Bloemfontein, África do Sul, 104 p.
- Maracchi, G. 2007. *Manuale di coltivazione e prima lavorazione del lino e altre piante da fibra*. Regione Toscana : RICERCA TRASFERIMENTO INNOVAZIONE - Settore delle politiche regionali dell'innovazione e della ricerca, 80 p.
- Melman, A.G., Schiphouwer, H., Hendriksen, L.J.A.M. 1994. *Energy content standards for arable farming and horticulture, part 1 and 2*. Applied Natural Science Research Institute (TNO-ME), Apeldoorn, Holanda.
- Morais, J.C.B. 2003. *Relatório de aula teórico-prática. Avaliação ambiental da cultura de sorgo sacarino*. Provas de aptidão pedagógica e capacidade científica, FCT/UNL, Lisboa, 52 p.
- Radiman, C.L., Widyaningsih, S., Sugesty, S. 2008. New applications of kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) as microfiltration membranes, *Journal of Membrane Science*, 315, 141–146.
- Regulamento (CEE) n.º 1765/92, do Conselho, de 30 de Junho de 1992. *Institui um sistema de apoio aos produtores de determinadas culturas arvenses*.
- Regulamento (CEE) N.º 334/93, da Comissão, de 15 de Fevereiro de 1993. *Estabelece as normas de execução para a utilização de terras retiradas para a produção de matérias destinadas ao fabrico, na Comunidade, de produtos não destinados primariamente ao consumo humano ou animal*.
- Sameshima, K., Cheng, Z., Mazumder, B.B., Sameshima, I., Ohtani, Y. 1999. Development of kenaf activities in Kochi, Japan. *Proceedings of the 2nd Annual Conference of the American Kenaf Society*, 72-84.
- Van den Berg, D. 2007. *Final report of BTG, Biokenaf Project*, 22 p.
- Venturi, G., Monti, A. 2005. Energia da colture dedicate: aspetti ambientali ed agronomici. *Conferenza Nazionale sulla Politica Energetica in Italia*. Bologna 18-19 aprile 2005, [Online] 2011. [Citação: 11 de Setembro de 2011.] www.tecnosophia.org/documenti/2005_04_conferenza_energia_bologna.htm
- Villar, J.C., Revilla, E., Gómez, N., Carbajo, J.M., Simón, J.L. 2009. Improving the use of kenaf for kraft pulping by using mixtures of bast and core fibers, *Industrial crops and products*, 29, 301–307.

- Webber, C. L., Bledsoe, V. K. 2002. Kenaf yield components and plant composition. In: Janick, J., Whipkey, A. (eds), *Trends in New Crops and New Uses*, ASHS Press, Alexandria, VA, EUA, 348-357.
- Webber, C. L., Bhardwaj, H. L. e Bledsoe, V. K. 2002. Kenaf Production: Fiber, Feed and Seed. *Trends in new crops and new uses*. 327-339.
- Webber, C. L., Bledsoe, V.K. e Bledsoe, R. E. 2002a. Kenaf Harvesting and Processing. *Trends in new crops and new uses*. 340-347.
- Zucchini, V. 2011. *Report of K.E.F.I activities on the Crops 2 Industry Project*, funded by the EU, 32 p.